

**ESCOLA NAVAL**

**DEPARTAMENTO DE FORMAÇÃO DE MARINHA**



**Conceito de Operação dos Veículos Submarinos Autónomos  
SeaCon a partir dos Submarinos da Classe *Tridente***

**ASPOF Diana Oliveira Martins Azevedo**

**MESTRADO EM CIÊNCIAS MILITARES NAVAIS  
(MARINHA)**

**(NÃO CLASSIFICADO)**

**ESCOLA NAVAL**

**DEPARTAMENTO DE FORMAÇÃO DE MARINHA**

**Conceito de Operação dos Veículos Submarinos Autónomos  
SeaCon a partir dos Submarinos da Classe *Tridente***

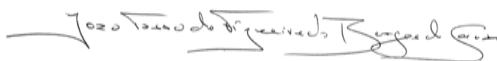
Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Ciências Militares Navais  
na especialidade de Marinha

O Mestrando,

---

Diana Oliveira Martins Azevedo  
ASPOF

O Orientador,



---

João Tasso de Figueiredo Borges de Sousa  
Engenheiro

O Coorientador,

---

Carlos José Isabel  
CFR M

**2013**

NÃO CLASSIFICADO



## EPÍGRAFE

---

*Só existem dois tipos de Navios:  
Os Submarinos e os Alvos*

Lema do submarinista



## AGRADECIMENTOS

---

Antes de iniciar a minha dissertação de mestrado gostaria de expressar os meus agradecimentos a todas as pessoas que contribuíram para que esta se tornasse realidade.

Ao meu Orientador Engenheiro João Tasso, pelos conhecimentos transmitidos, apoio e dedicação demonstrados ao longo de todo o processo de elaboração da minha dissertação de mestrado.

Ao meu Coorientador CFR M José Isabel, pela valiosa coordenação e aconselhamento em momentos críticos por que passei durante a fase de decisão do tema e início do estudo da minha dissertação e contributos dados ao longo da elaboração desta.

Aos dois pilares que foram cruciais para a elaboração do presente trabalho, agradeço a cooperação e apoio disponibilizados:

- À Esquadilha de Submarinos, em concreto ao 1TEN EN-MEC Barata da Silveira, 1TEN Taveira Pinto, ao 2TEN Sousa Vieira e ao 2TEN EN-AEL Canhoto Mendes;
- À FEUP, em concreto, ao José Braga, ao Pedro Calado, ao José Quadrado, ao Paulo Dias e à Margarida Faria.

Ao Destacamento de Mergulhadores N° 3, 1TEN Robalo Rodrigues e restante equipa, pela disponibilização de meios para os testes com o AUV SeaCon.

Ao CINAV, pela disponibilização das ferramentas necessárias para o desenvolvimento de trabalhos de investigação científica na área da robótica submarina que contribuem para o desenvolvimento tecnológico da Marinha.

Ao Departamento de Marinha da Escola Naval, pelos ensinamentos passados ao longo da minha formação na Escola Naval enquanto docente e pela dedicação na coordenação do processo de elaboração da minha dissertação de mestrado.

Às minhas camaradas, ASPOF Jesus Bastos e ASPOF EN-AEL Ganança do Carmo pelo apoio, camaradagem e amizade partilhadas ao longo desta etapa do meu curso.

Por fim à minha família, pais, tios, padrinhos e afilhado por toda a sua dedicação e orgulho demonstrados ao longo do meu curso na Escola Naval.



## RESUMO

---

Os veículos submarinos autónomos (AUV's) surgiram no contexto militar (século XX) como um instrumento de progressão da força naval. Os AUV's são pequenos submarinos não tripulados que executam missões pré-programadas sem intervenção de um operador, contribuindo assim para um acréscimo das capacidades inerentes às missões da Marinha, tanto em missões de carácter científico (e.g. recolha de dados oceanográficos) como operacional (e.g. guerra de minas).

É objetivo deste trabalho a apresentação de uma solução para a operação de AUV's da classe SeaCon a partir dos submarinos da classe *Tridente*. Os AUV's SeaCon foram desenvolvidos pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto em colaboração com a Marinha, no âmbito do projeto SeaCon financiado pelo Ministério da Defesa Nacional, mas encontram-se em fase de melhoramento (parceria de I&D SeaCon II). Esta solução permitirá dotar a Marinha de capacidades únicas a nível Europeu, sendo que tal só é possível em virtude da capacidade de desenvolvimento nacional nesta área. Estas capacidades complementam as capacidades únicas da nova arma submarina da Marinha e contribuirão para melhor as adaptar a novos ambientes de operação.

A metodologia empregue neste trabalho inspira-se na metodologia proposta no Standard do IEEE (1220-2005) para o processo que Engenharia de Sistemas que estrutura todos os passos desde a análise e definição dos requisitos até à síntese de um sistema-solução.

O trabalho foi orientado para a apresentação de uma solução que privilegia a utilização de sistemas do submarino e do AUV, restringindo as modificações às necessárias à sua operação como sistema. O conceito de operação engloba o planeamento, lançamento, operação e recolha do AUV a partir do submarino (vertente mecânica, técnica e operacional). A solução proposta consiste no lançamento do AUV a partir do sistema de tubos lançadores de armas e a recolha pela eclusa, sendo objetivo do conceito de operação a flexibilidade de utilização dos dois sistemas.

**Palavras-chave:** Veículos submarinos autónomos, submarino, conceito de operação, sistema, lançamento e recolha.



## ABSTRACT

---

Autonomous Underwater Vehicles (AUV's) first appeared within a military context (Twentieth Century) as a naval progression instrument. AUV's are small unmanned submarines who execute pre-programmed missions, without the intervention of an operator, hence contributing for an increase in the Navy's inherent capabilities, in scientific featured missions (e.g. oceanographic data collection) as well as operational missions (e.g. minesweeping operations).

This work aims to present a solution regarding the operational use of SeaCon Class AUV's in combination with *Tridente* Class Submarines. The SeaCon AUV's have been developed by Oporto University's Engineering College in collaboration with the Portuguese Navy, in light of the SeaCon project, which is funded by the portuguese's Ministry of Defense, however, it is currently in an improvement phase (I&D SeaCon II partnership). This solution will allow the Navy to endow unique european level capabilities, given that such a possibility will only exist with a national level ability to develop the study area. These capabilities complement the unique features of the portuguese's newest submarine weapon and will contribute to better adapt to new operational environments.

This work's methodology is inspired in the IEEE (1220-2005) standard methodology proposal for system engineering process, which structures all process steps from requisition's analysis and definition to a system's synthetized solution.

The work was guided in order to present a solution which privileges the use of the AUV's and submarine's systems, restricting modifications to its operation needs as a system. The operation concept encompasses the AUV's planning, launch, operation and recovery from the submarine (mechanical, technical and operational components). The proposed solution specifies the AUV's launch from the submarine's torpedo tube launchers and its recovery through the hatchway, being the operation concept's main objective to achieve flexibility in the use of both systems.

**Key-words:** Autonomous Underwater vehicles, submarine, concept of operation, system, launch and recovery.



## INDICE

---

EPÍGRAFE .....	iii
AGRADECIMENTOS .....	2
RESUMO .....	3
ABSTRACT .....	4
INDICE .....	5
LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS .....	8
ÍNDICE DE FIGURAS .....	11
ÍNDICE DE DIAGRAMAS .....	13
CAPITULO I - INTRODUÇÃO .....	15
1.1. Enquadramento do tema.....	15
1.2. Motivação .....	17
1.3. Descrição do Problema.....	17
1.3.1. Questões centrais e derivadas .....	18
1.4. Metodologia de investigação .....	19
1.4.1. Estrutura da dissertação .....	23
CAPITULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	24
2.1. Introdução .....	24
2.2. Veículos submarinos.....	24
2.2.1. Contextualização.....	24
2.2.2. <i>Autonomous Underwater Vehicles</i> .....	27
2.2.3. Utilização operacional .....	29
2.3. Estações de <i>Docking</i> .....	30
2.3.1. Contextualização.....	30
2.3.2. Tipos de estações de <i>docking</i> .....	31
2.3.3. Operação a partir de um Submarino .....	33
CAPITULO III - PROJETO SEACON .....	40
3.1. Introdução .....	40
3.1.1. Parceria Marinha portuguesa/FEUP .....	40
3.1.2. Enquadramento do projeto.....	40
3.2. AUV SeaCon .....	42
3.2.1. Subsistema Mecânico e Elétrico .....	42
3.2.2. Sistema computacional.....	44
3.2.3. Subsistema de comunicações e emergência .....	49
3.2.4. Sensores de Navegação e Payloads .....	50



3.3. Estação de controlo.....	53
3.4. <i>Gateway</i> .....	58
3.5. Sistema de Posicionamento <i>Long Base Line</i> .....	59
3.6. Empenhamento operacional .....	61
<b>CAPITULO IV - SUBMARINOS DA CLASSE TRIDENTE.....</b>	<b>62</b>
4.1. Introdução.....	62
4.1.1. A 5ª Esquadilha .....	62
4.2. Características .....	63
4.2.1. Características técnicas .....	63
4.2.2. Propulsão.....	67
4.2.3. Tácticas.....	68
4.3. Conceito de Navegação.....	68
4.3.1. Conceitos Gerais .....	68
4.3.2. Navegação Submarina.....	71
4.4. Operação dos submarinos da Classe <i>Tridente</i> .....	72
4.4.1. <i>Navigation Data Management Center</i> .....	73
<b>CAPITULO V - DEFINIÇÃO E ANALISE DO PROBLEMA .....</b>	<b>81</b>
5.1. Introdução.....	81
5.2. Análise de Requisitos .....	81
5.2.1. Justificação da necessidade.....	81
5.2.2. Restrições externas .....	81
5.2.3. Cenários operacionais .....	82
5.2.4. Limitações/restrições .....	83
5.2.5. Interfaces .....	84
5.2.6. Ambiente de utilização .....	84
5.2.7. Requisitos funcionais.....	87
5.3. Base dos requisitos .....	87
5.3.1. Vista Operacional.....	87
5.3.2. Vista Funcional.....	91
5.3.3. Vista de Projeto .....	93
5.4. Soluções do sistema.....	93
<b>CAPITULO VI - SOLUÇÃO PROPOSTA.....</b>	<b>96</b>
6.1. Introdução.....	96
6.2. Subsistemas .....	97
6.3. Conceito de operação detalhado.....	103
<b>CAPITULO VII - CONCLUSÕES .....</b>	<b>120</b>
7.1. Conclusões Gerais.....	120





<b>7.2. Trabalho Futuro .....</b>	<b>121</b>
<b>7.3. Comentários Finais.....</b>	<b>121</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>125</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>129</b>
<b>Anexo A – Tabela AUV´s .....</b>	<b>129</b>
<b>Anexo B – Estações de <i>docking</i> submarinas .....</b>	<b>129</b>
<b>Anexo C – Produtos da operação do AUV SeaCon .....</b>	<b>129</b>
<b>Anexo D – Cenários .....</b>	<b>129</b>
<b>Anexo E – Características táticas do submarino .....</b>	<b>129</b>
<b>Anexo F – Fotos AUV dentro do Tubo .....</b>	<b>129</b>



## LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS

---

<b>3D</b>	Três dimensões
<b>AHRS</b>	<i>Attitude Heading Reference System</i>
<b>AIP</b>	<i>Air Independent Propulsion</i>
<b>AIS</b>	<i>Automatic Identification System</i>
<b>ASW</b>	<i>Anti-Submarine Warfare</i>
<b>AUV</b>	<i>Autonomous Underwater Vehicle</i>
<b>C<sup>2</sup></b>	<i>Command and Control</i>
<b>C4I</b>	<i>Command, Control, Communications, Computer and Intelligence</i>
<b>C4ISR</b>	<i>Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance</i>
<b>CDM</b>	<i>Control and Display Module</i>
<b>CDP</b>	<i>Control and Display Panel</i>
<b>CEDN</b>	<i>Conceito Estratégico de Defesa Nacional</i>
<b>CIC</b>	Centro de Informações de combate
<b>CINAV</b>	Centro de Investigação Naval
<b>COG</b>	<i>Course Over Ground</i>
<b>CONOPS</b>	<i>Concept of Operations</i>
<b>CPU</b>	<i>Central Processing Unit</i>
<b>CTD</b>	<i>Conductivity, Temperature and Depth</i>
<b>DDS</b>	<i>Dry Deck Shelter</i>
<b>DGPS</b>	<i>Differential Global Positioning System</i>
<b>DMS3</b>	Destacamento de Mergulhadores Sapadores nº 3
<b>DVL</b>	<i>Doppler Velocity Log</i>
<b>EMCS</b>	<i>Electronic Machinery Control System</i>
<b>ES</b>	Esquadilha de Submarinos
<b>ESM</b>	<i>Electronic Support Measurement</i>
<b>EUA</b>	Estados Unidos da América
<b>EKF</b>	<i>Extended Kalman Filter</i>
<b>FEUP</b>	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
<b>FOMC</b>	<i>Fiber Optic Microcable</i>



<b>FPU</b>	<i>Floating-Point Unit</i>
<b>GPS</b>	<i>Global Positioning System</i>
<b>GSM</b>	<i>Global System for Mobile Communications</i>
<b>GRP</b>	<i>Glass Fibre Reinforced Plastic</i>
<b>HF</b>	<i>High Frequency</i>
<b>I&amp;D</b>	Investigação e Desenvolvimento
<b>IFF</b>	<i>Identification Friend or Foe</i>
<b>IMC</b>	<i>Inter-Module Communication</i>
<b>IMU</b>	<i>Inertial Measurement Unit</i>
<b>ISR</b>	<i>Intelligence, Surveillance and Reconnaissance</i>
<b>ISUS</b>	<i>Integrated Sensor Underwater System</i>
<b>L&amp;R</b>	<i>Launch and Recovery</i>
<b>LAUV</b>	<i>Light Autonomous Underwater Vehicle</i>
<b>LBL</b>	<i>Long Base Line</i>
<b>LED</b>	<i>Light-Emitting Diode</i>
<b>LMRS</b>	<i>Long-Term Mine Reconnaissance System</i>
<b>LSTS</b>	Laboratório de Sistemas e Tecnologias Subaquáticas
<b>MAD</b>	<i>Magnetic Anomaly Detector</i>
<b>MCM</b>	<i>Mine Countermeasures</i>
<b>MDN</b>	Ministério da Defesa Nacional
<b>MINS</b>	<i>Maritime Inertial Navigation System</i>
<b>MPA</b>	<i>Maritime Patrol Aircraft</i>
<b>NATO</b>	<i>North Atlantic Treaty Organization</i>
<b>NAVPLAN</b>	Planeamento de navegação
<b>NCC</b>	<i>Navigation Commander Console</i>
<b>NDMC</b>	<i>Navigation Data Management Center</i>
<b>NRaD</b>	<i>Naval Research and Development</i>
<b>NRP</b>	Navio da República Portuguesa
<b>ONU</b>	Organização das Nações Unidas
<b>PPS</b>	<i>Precise Positioning Service</i>
<b>R/V</b>	<i>Rendez-vous</i>



<b>RADAR</b>	<i>Radio Detection and Ranging</i>
<b>REA</b>	<i>Rapid Environmental Assessment</i>
<b>REMUS</b>	<i>Remote Environmental Monitoring Units</i>
<b>ROV</b>	<i>Remotely Operated Vehicles</i>
<b>S<sup>2</sup>VTD</b>	<i>Salinity &amp; Sound Velocity, Temperature &amp; Density</i>
<b>SBS</b>	<i>System breakdown structure</i>
<b>SEP</b>	<i>Systems Engineering Process</i>
<b>SFN</b>	Sistema de Forças Nacional
<b>SOG</b>	<i>Speed Over Ground</i>
<b>SONAR</b>	<i>Sound Navigation and Ranging</i>
<b>SSBN</b>	<i>Ship Submersible Ballistic (missile) Nuclear (powered)</i>
<b>SSC</b>	<i>Steering Station Console</i>
<b>SSGN</b>	<i>Ship Submersible Guided (missile) Nuclear (powered)</i>
<b>STW</b>	<i>Speed Through Water</i>
<b>SATCOM</b>	<i>Satellite Communications</i>
<b>TCP</b>	<i>Transmission Control Protocol</i>
<b>UDP</b>	<i>User Datagram Protocol</i>
<b>UE</b>	União Europeia
<b>UHF</b>	<i>Ultra High Frequency</i>
<b>USBL</b>	<i>Ultra-Short Base Line</i>
<b>USS</b>	<i>United States Submarine</i>
<b>UWT</b>	<i>Underwater Telephone</i>
<b>UUV</b>	<i>Unmanned Underwater Vehicle</i>
<b>VHF</b>	<i>Very High Frequency</i>
<b>XML</b>	<i>eXtensible Markup Language</i>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Diagrama de um sistema (SBS) (Sousa, Gonçalves & Azevedo, 2013).....	19
Figura 2 - Processo de Engenharia de Sistemas (Sousa, Gonçalves & Azevedo, 2013).....	20
Figura 3 - Análise de requisitos (Sousa, Gonçalves & Azevedo, 2013) .....	22
Figura 4 -Veículos Submarinos (Cruz, 2011).....	25
Figura 5 - AUV REMUS ( <a href="http://auvac.org/configurations/view/39">http://auvac.org/configurations/view/39</a> ).....	25
Figura 6 - ROV LUSO ( <a href="http://www.emepc.pt/">http://www.emepc.pt/</a> ) .....	26
Figura 7 - Wave Glider ( <a href="http://smart-future.org/2011/10/the-interesting-thing-about-ideas/">http://smart-future.org/2011/10/the-interesting-thing-about-ideas/</a> ) .....	26
Figura 8 - Aplicação dos AUV's ( <a href="http://www.douglas-westwood.com">www.douglas-westwood.com</a> ).....	28
Figura 9- Braço robótico de recolha do AUV (French, 2010).....	34
Figura 10 - utilização da estação de <i>docking</i> em cone no submarino (Fedor, 2009).....	35
Figura 11 - “ <i>Wet</i> ” <i>Casing Mounted Hangar</i> ( <a href="http://www.bmt.org">www.bmt.org</a> ).....	36
Figura 12 - <i>Universal Launch and Recovery Module</i> (Stewart & Pavlos, 2006).....	37
Figura 13 - Recolha do AUV pelo SUBROV ( <a href="http://www.seaeye.com/seaowlsubrov.html">www.seaeye.com/seaowlsubrov.html</a> ) .....	38
Figura 14 - Alguns sensores do AUV SeaCon (LSTS, 2011) .....	43
Figura 15 - Mecanismo de troca de mensagens do DUNE (Sousa, Pinto, Calado, Braga, Martins & Marques, s.d.).....	45
Figura 16 - Arquitetura AUV SEACON (Sousa, Pinto, Calado, Braga, Martins & Marques, s.d.) .....	46
Figura 17 - Referenciais “Mundo” e do veículo (Pinto, 2009).....	47
Figura 18 - Imagem tratada do fundo a partir do <i>side-scan sonar</i> (LSTS) .....	53
Figura 19 - Representação do ambiente envolvente da missão (LSTS) .....	54
Figura 20 - Representação de uma missão (LSTS, 2011) .....	55
Figura 21 - Consola Neptus (LSTS, 2011) .....	56
Figura 22 - Mapa da batimetria / Mapa <i>Side-scan sonar</i> (LSTS, 2011) .....	57
Figura 23 - Tabela de dados da missão (LSTS).....	57
Figura 24 - Manta <i>Gateway</i> e cabo transdutor (LSTS, 2011) .....	58
Figura 25 - Posicionamento LBL com dois faróis (Santos, 2008) .....	60
Figura 26 - Submarinos da Classe <i>Tridente</i> ( <a href="http://www.marinha.pt">www.marinha.pt</a> ) .....	63
Figura 27 - Submarino modelo U-214 (Folheto dos submarinos).....	65
Figura 28 - Antena rebocada flutuante (TM 0761.01).....	66
Figura 29 - Tipos, métodos e sistemas de navegação (INA 2) .....	70
Figura 30 - Sistema de eixos do submarino (Goulart, 2010).....	70
Figura 31 - Sistema de eixos de rotação de um navio de superfície ( <a href="http://www.oceanica.ufrj.br/">http://www.oceanica.ufrj.br/</a> ) .....	70
Figura 32 - Alguns dos sensores do submarino (TM 0761.01) .....	74
Figura 33 - Exemplo do Display do CDM (TM 0761.01).....	75



Figura 34 - Diagrama do GPS Module e Clock Module (TM 0761.01) .....	76
Figura 35 - USBL Evologics ( <a href="http://www.evologics.de/en/products/USBL/s2cr_18_34_usbl.html">http://www.evologics.de/en/products/USBL/s2cr_18_34_usbl.html</a> ). ....	97
Figura 36 - Mina Murena.....	99
Figura 37 - Modelo do berço do AUV. ....	99
Figura 38 - Modo de operação 1.....	103
Figura 39 - Modo de operação 2.....	103
Figura 40- SONAR do submarino. ....	111
Figura 41- Telefone submarino. ....	111
Figura 42 - Comunicação com uma estação em terra.....	111
Figura 43 - Comunicações à superfície submarino - AUV. ....	112
Figura 44 - Área R/V do submarino e AUV.....	113
Figura 45 - Setor de aproximação do AUV ao submarino. ....	115
Figura 46 - Processo de <i>docking</i> do AUV na eclusa. ....	115
Figura 47 - Vista superior (esquerda) e vista lateral (direita) do <i>docking</i> . ....	116



## ÍNDICE DE DIAGRAMAS

---

Diagrama 1 - SBS do Sistema SeaCon.....	21
Diagrama 2 - SBS AUV.....	27
Diagrama 3- SBS Estação de <i>docking</i> .....	32
Diagrama 4 - SBS do sistema SeaCon.....	41
Diagrama 5 - SBS do AUV SeaCon.....	42
Diagrama 6 - Constituição do NDMC.....	75
Diagrama 7 - <i>Inputs</i> e <i>outputs</i> NAV Module.....	78
Diagrama 8 - Novos sistemas do AUV e do submarino.....	96
Diagrama 9 - Sistema L&R.....	101



## ÍNDICE DE TABELAS

---

Tabela 1 – Caracterização da área de operações. ....	85
Tabela 2 - Cenário de operações.....	88
Tabela 3 - Área de operações. ....	89
Tabela 4 - Operação.....	90
Tabela 5 - Comunicações. ....	91
Tabela 6 - Integração do AUV no submarino.....	91
Tabela 7 - Posicionamento relativo do AUV e do submarino para recolha. ....	92
Tabela 8 - Sistema de emergência. ....	92
Tabela 9 - Modificações nos sistemas do submarino. ....	94
Tabela 10 - Transição de estados do sistema L&R. ....	102
Tabela 11 - Fita de tempo. ....	106





## CAPITULO I - INTRODUÇÃO

---

### 1.1. Enquadramento do tema

O Conceito Estratégico de Defesa Nacional (CEDN), revisto em 5 de Abril de 2013, estabelece as principais diretivas relativas à segurança e defesa do país, tendo em conta os objetivos definidos pelo Estado. “Explorar a experiência recolhida pela participação das Forças Armadas em missões no exterior para, em colaboração entre universidades, centros de investigação e a indústria, desenvolver soluções tecnológicas com interesse para o mercado global da defesa e de duplo uso civil e militar” (CEDN, 2013, p. 45) é umas das diretivas deste documento e vai de encontro ao tema da presente dissertação de mestrado.

A Marinha surge no plano internacional como uma potência naval permanente, em constante desenvolvimento, possuindo diversas capacidades fundamentais para a sua autodeterminação, mas ainda aquém das grandes potências navais mundiais (e.g. Marinha dos Estados Unidos da América). Na Marinha tem-se verificado um relevante progresso naval e tecnológico, tanto no aumento da esquadra (aquisição dos Navios de Patrulha Oceânicos (NPO) e dois submarinos) como a aquisição de plataformas de apoio às missões navais (e.g. veículos submarinos autónomos Gavia).

A Marinha atua em diversos tipos de missões, integrando a vertente operacional (e.g. combate à pirataria, integração de exercícios com outras marinhas, inserção de forças operacionais em terra), vertente de busca e salvamento e patrulha da costa portuguesa, mas também missões de carácter científico (e.g. levantamentos hidrográficos/oceanográficos). São também várias as participações em missões no estrangeiro, no âmbito da *North Atlantic Treaty Organization* (NATO<sup>1</sup>), da Organização das Nações Unidas (ONU), da União Europeia (UE), entre outros, atuando em diversos tipos de cenários.

Uma das mais recentes aquisições da Marinha, neste âmbito, foram três veículos submarinos autónomos (AUV's<sup>2</sup>) desenvolvidos no âmbito do projeto SeaCon da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). A Marinha mantém esta parceria com o objetivo primordial de conferir aos veículos a componente operacional, necessária ao desenvolvimento dos mesmos.

---

<sup>1</sup> Organização do Tratado do Atlântico Norte.

<sup>2</sup> AUV – *Autonomous Underwater Vehicle*.



Portugal, sendo um país que assume uma posição geoestratégica importante a nível mundial, deve estar dotado de uma capacidade dissuasora que permita assegurar os seus interesses estratégicos. Os AUV's surgem como instrumento militar que auxilia a projeção de forças navais em missões específicas. Além da sua aplicação, Portugal (por intermédio da FEUP e da Marinha) possui assim uma importante independência tecnológica quanto aos AUV's, i.e. tem capacidade de construção e desenvolvimento de AUV's, comparativamente a outras marinhas (e.g. Estados Unidos da América - EUA, Noruega).

Os AUV's SeaCon utilizam um sistema de comando e controlo (C<sup>2</sup>) totalmente independente do veículo, que lhes confere um elevado nível de autonomia. Estes veículos foram concebidos para operarem em águas pouco profundas, nas proximidades de costa, podendo ser aplicados em diversas missões de cariz militar.

Tanto estes AUV's, como os AUV's Gavia, integram atualmente o dispositivo naval na vertente de *Mine Countermeasures*<sup>3</sup> (MCM), operando conjuntamente com os Mergulhadores da Armada (DMS3). Além da aplicação atual, estes veículos podem ser empenhados em outros tipos de missões, nomeadamente missões de *Rapid Environmental Assessment*<sup>4</sup> (REA) e de *Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance* (ISR).

A componente operacional da Marinha é a vertente que emprega o maior número de meios navais. Os submarinos assumem um papel importante nesta operacionalização, pois são uma plataforma de reconhecida mais-valia para um dispositivo naval. A sua vertente *covert* (discreta) permite o aumento significativo da capacidade de dissuasão de uma Marinha, sendo a nossa bem representada pelos dois submarinos recentemente adquiridos.

A utilização dos AUV's a partir de plataformas de superfície (e.g. semi-rígidas/botes, navios) é já um conceito bastante explorado pela Marinha e pelos investigadores desta área, sendo os veículos principalmente vocacionados para essa situação.

A utilização dos AUV's a partir de submarinos é uma vertente em desenvolvimento em algumas marinhas, nomeadamente na Marinha dos EUA. Esta capacidade permite

---

<sup>3</sup> Contramedidas de minas.

<sup>4</sup> Missões de recolha de dados meteorológicos ou oceanográficos, durante um período de tempo, visando a caracterização de um determinado local a partir da análise dos dados recolhidos. Normalmente estas missões são efetuadas antes de um exercício naval, de forma a recolher os dados necessários à aplicação das forças navais no local de operação.



aumentar a capacidade de operação dos submarinos, possibilitando a execução de missões mais próximas de costa sem necessidade de comprometer a sua discrição.

A presente dissertação de mestrado visa a aplicação dos AUV's SeaCon à plataforma do submarino, tendo em conta os vários cenários de operação, bem como as etapas da operação. Esta capacidade permitirá à Marinha adquirir mais uma valência importante no que diz respeito à sua vertente operacional.

## 1.2. Motivação

No âmbito do Centro de Investigação Naval<sup>5</sup> (CINAV) e da Esquadrilha de Submarinos surgiu a oportunidade de reunir duas realidades que caracterizam a Marinha, a vertente operacional, materializada nos submarinos, e a componente científica e de investigação (uma das diretivas para a Marinha) vertida no CINAV.

Tendo em conta a necessidade da Marinha em operacionalizar os seus meios navais e o desenvolvimento tecnológicos dos AUV's em Portugal, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um conceito de operações que conjugue as capacidades dos submarinos da Marinha e a tecnologia oferecida pelos AUV's. Este conceito considera-se de especial relevância para o atual desenvolvimento operacional e tecnológico da Marinha.

## 1.3. Descrição do Problema

Este trabalho descreve o problema da operação do AUV a partir dos submarinos, sendo plataformas com especificidades particulares. Este problema decompõe-se em duas vertentes: a vertente do equipamento necessário para o efeito e a vertente do desenvolvimento do conceito de operação.

Para definir o conceito de operação dos AUV's SeaCon a partir dos submarinos da Classe *Tridente* é necessário caracterizar ambas as plataformas isoladamente, segundo o *System Breakdown Structure*<sup>6</sup> (SBS). Cada plataforma é definida tendo em conta parâmetros importantes para o seu conceito de operação (e.g. características, navegação, posicionamento).

---

<sup>5</sup> Centro de investigação da Marinha que coordena os esforços de I&D, quer da Escola Naval (prestação de serviços à comunidade académica), quer da Marinha em geral (apoio científico às atividades da Marinha), com exceção das atividades da competência do Instituto Hidrográfico.

<sup>6</sup> Estrutura utilizada para definir um sistema tendo em conta a divisão hierárquica dos elementos constituintes do sistema. Esta técnica é baseada na relação entre as funções operacionais requeridas e as funções técnicas necessárias para o seu suporte.



O conceito de operação das duas plataformas assenta em quatro fases distintas:

- Preparação
- Lançamento do AUV;
- Operação das plataformas;
- Recolha do AUV.

Cada fase integra várias etapas e procedimentos respeitantes às duas plataformas e deve ser analisada em separado.

O problema presente neste trabalho descreve a interface entre as duas plataformas (submarino e AUV) e a aplicação do sistema no contexto operacional (e.g. missões *covert*). As restrições do submarino quanto a alterações de sistemas ou estruturais tornam a operação das plataformas mais complexa e sujeita a um estudo mais criterioso.

A abordagem ao conceito de lançamento e recolha do AUV será restringida aos sistemas de bordo do submarino, para o que serão necessárias adaptações mínimas. Isto torna a definição do conceito de operação (CONOP) mais complicada.

O problema do presente trabalho será definido e analisado no Capítulo V.

### 1.3.1. Questões centrais e derivadas

O presente trabalho tem como objetivo a resolução da seguinte questão central:

- Qual o conceito de operação de um AUV de pequenas dimensões (AUV SeaCon) a partir de um submarino da Classe *Tridente*?

Esta questão será o ponto de partida para a elaboração da dissertação de mestrado, assentando em algumas questões derivadas que surgiram a partir da questão central:

- ✓ Qual a vantagem para a Marinha da investigação e desenvolvimento (I&D) dos AUV's em Portugal?
- ✓ O que é e como se aplica a este contexto o processo de Engenharia de sistemas?
- ✓ Qual a vertente operacional do *deployment* do AUV a partir do submarino?

Ao longo da presente dissertação as respostas a estas questões serão abordadas, contribuindo para a solução da questão central.



#### 1.4. Metodologia de investigação

O tema da presente dissertação de mestrado será abordado segundo os conceitos fundamentais do processo de Engenharia de Sistemas<sup>7</sup>. Existem várias abordagens a este processo, mas os conceitos explanados neste trabalho baseiam-se na definição do IEEE Std 1220-2005<sup>8</sup>.

Segundo esta referência, um sistema é um conjunto ou disposição de elementos [pessoas, produtos (hardware e software) e processos (instalações, equipamentos, materiais e procedimentos)] que estão relacionados e cujo comportamento satisfaz as necessidades do cliente/operacional e fornecendo os produtos de sustentação ao ciclo de vida. A figura 1 caracteriza o SBS genérico de um sistema:

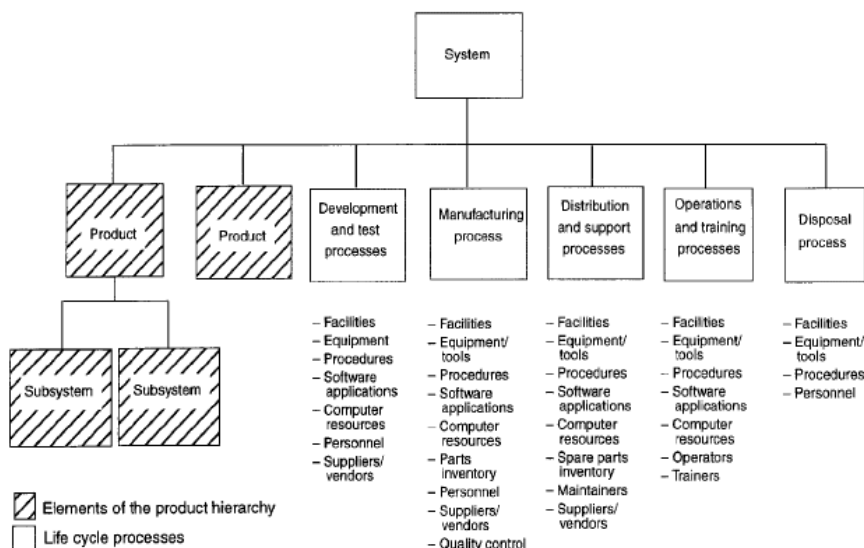


Figura 1- Diagrama de um sistema.

O processo da Engenharia de Sistemas (*Systems Engineering Process* - SEP) tem como objetivo definir, desenhar e estabelecer o ciclo de vida de um sistema, englobando todos os produtos e processos deste. Este processo permite integrar a componente operacional no sistema, transformando as necessidades, requisitos e constrangimentos em soluções para o sistema.

<sup>7</sup> A Engenharia de Sistemas é uma abordagem interdisciplinar que torna possível a concretização de sistemas de elevada complexidade, definindo, de forma precoce no ciclo de desenvolvimento de um sistema, as necessidades do usuário (cliente) e as funcionalidades requeridas para o sistema. Para isto procede à definição sistemática dos requisitos, à síntese do projeto e à etapa de validação, de forma a considerar o problema completo.

<sup>8</sup> IEEE Standard for Application and Management of the Systems Engineering Process.

Os sistemas podem ser abordados de duas formas:

- ✓ Sistemas para os quais existem precedentes;
- ✓ Sistemas para os quais não existem precedentes.

No presente trabalho aplica-se a segunda abordagem, pois não existe nenhum conceito de operação desenvolvido neste âmbito. Apesar de não existir, a Marinha possui a capacidade de o desenvolver, pois integra o I&D dos AUV's conjuntamente com a FEUP no âmbito do projecto SeaCon.

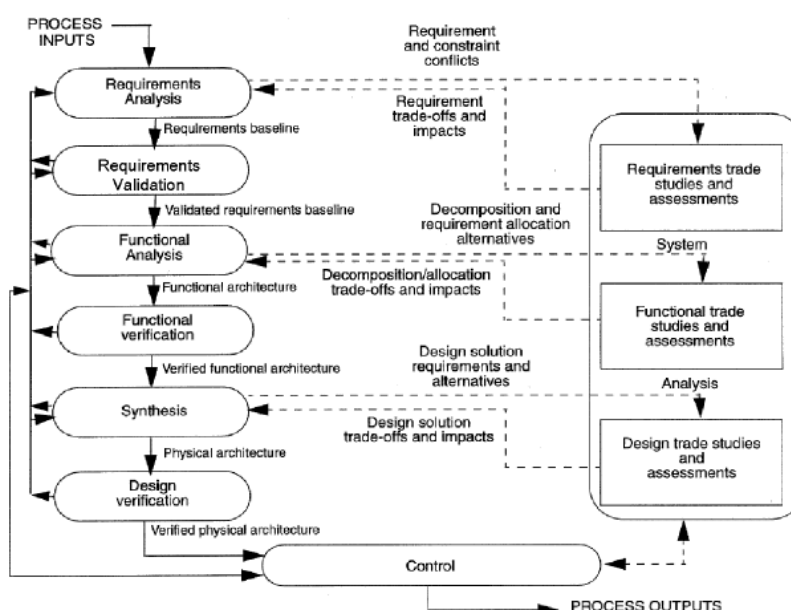


Figura 2 - Processo de Engenharia de Sistemas.

A figura 2 caracteriza o processo de Engenharia de Sistema que consiste primeiro na definição, análise e validação dos requisitos de forma a definir requisitos-base do sistema. Após a análise funcional e de performance são definidas soluções para o sistema, a partir de estudos e avaliação (lado direito da figura).

Neste trabalho, após a sua definição, os requisitos do sistema serão validados tendo em conta o levantamento de informações junto dos especialistas de cada área, nomeadamente oficiais submarinistas (classe de Marinha e de Engenheiros Navais) e elementos da equipa do LSTS responsável pelos AUV's SeaCon (cujo investigador responsável é o orientador da presente dissertação). Estas entrevistas informais possibilitaram o conhecimento de ambas as realidades, contribuindo para a perceção e desenvolvimento do tema.



O conceito de operações que irá ser desenvolvido no presente trabalho deverá criar e avaliar várias opções de forma a encontrar a solução que satisfaça os parâmetros de requisitos do sistema e a maximização da sua *performance*.

Um sistema é composto por vários elementos, nomeadamente subsistemas, componentes e as suas interfaces. Consiste na interligação de produtos (juntamente com os subsistemas que os caracterizam) e processos (ciclo de vida que suporta os produtos). Neste caso, o sistema considerado endereça a operação submarino – AUV, que se subdivide em três partes:

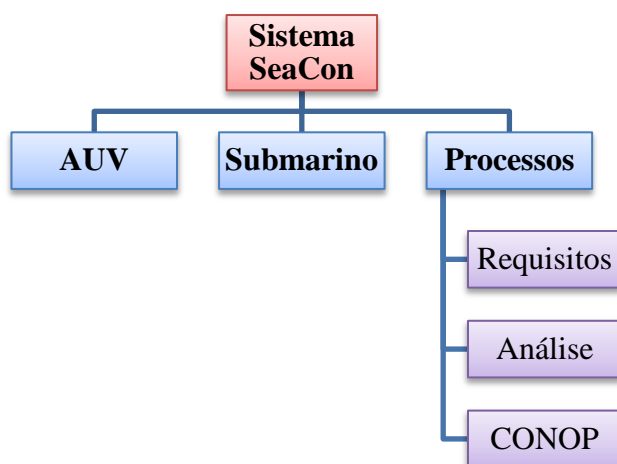


Diagrama 1 - SBS do Sistema SeaCon.

As plataformas de estudo (AUV e submarino) serão abordadas em capítulos diferentes, sendo caracterizadas segundo o SBS para definir a seu conceito de operação. Os processos associados ao sistema constituem a base de análise e definição do conceito de operação a que se propõe o presente trabalho.

No SEP, a questão da definição e análise de requisitos é uma das componentes principais para a definição da solução do sistema, pois condiciona o restante processo. A figura 3 ilustra a organização da análise dos requisitos do sistema:

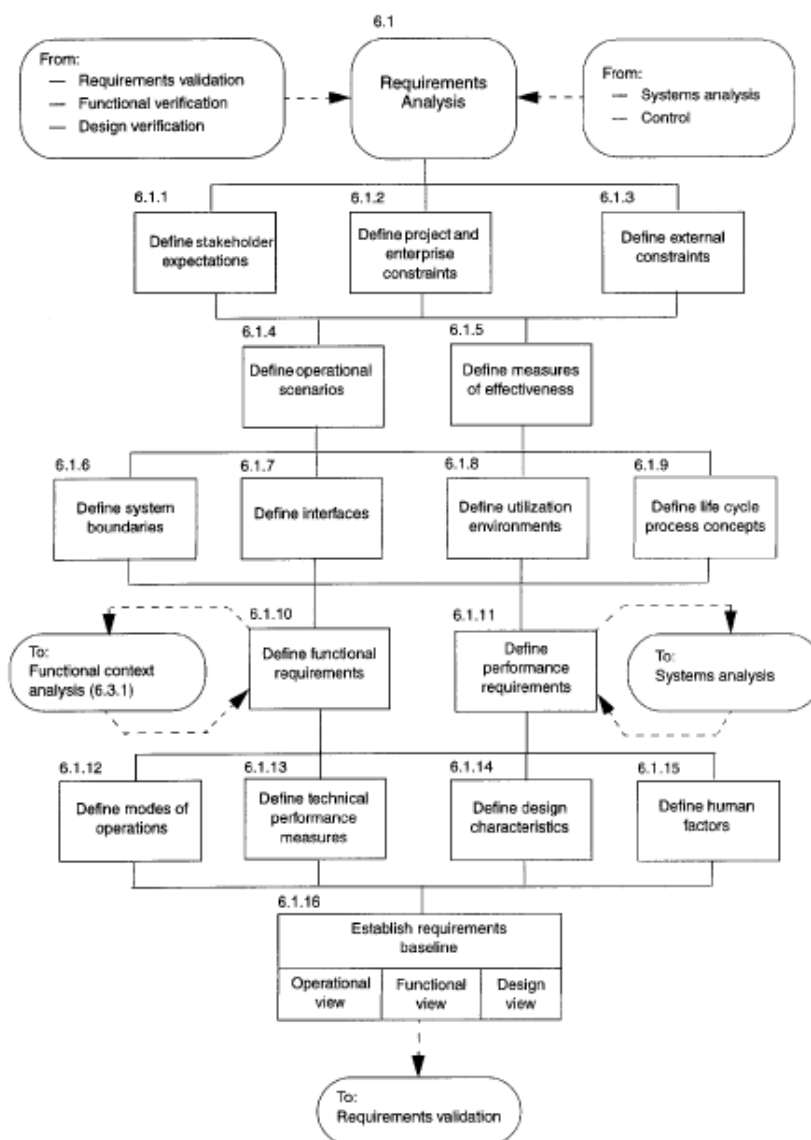


Figura 3 - Análise de requisitos.

A figura 3 define os patamares de estudos dos requisitos do sistema com o objetivo de definir soluções (validação do sistema). Em primeira instância a análise de requisitos contempla a justificação da necessidade do sistema e a definição das restrições tanto da “empresa” como externas. Depois deve definir os cenários operacionais onde o sistema irá atuar, bem como as medidas de efetividade. A definição dos processos do ciclo de vida do sistema deve conter os limites do sistema (“fronteiras”), as interfaces e os ambientes de utilização que permitem definir os requisitos funcionais e de performance do sistema. Por fim, para a validação do sistema, é necessário estabelecer a base dos requisitos do ponto de vista operacional, funcional e de projeto.





A abordagem à solução deste sistema será baseada no processo acima descrito, segundo o impacto nos subsistemas dos produtos (submarino, AUV e processos associados).

Depois da definição e análise dos requisitos são definidas as funções do sistema, procedendo também à análise para formalização da solução e posterior desenvolvimento do CONOPS. Este conceito tem em conta a solução considerada mais viável e visa a maximização das capacidades de operação do submarino e do AUV.

#### **1.4.1. Estrutura da dissertação**

A presente dissertação de mestrado encontra-se organizada em sete capítulos, ao longo dos quais a informação é dividida segundo subcapítulos e secções.

O capítulo I é um capítulo introdutório em que é apresentado o tema e a metodologia utilizada na elaboração do trabalho.

O capítulo II apresenta a revisão bibliográfica do tema, no que diz respeito aos veículos submarinos autónomos e estações de *docking* submarinas, que enquadram o objetivo de estudo deste trabalho.

Os capítulos III e IV apresentam as duas plataformas de estudo, o veículo submarino autónomo inserido no Projeto SeaCon e os submarinos da Classe *Tridente*, respetivamente. Nestes capítulos são explanadas as características e conceito de operação das duas plataformas, bem como as capacidades passíveis de ser utilizadas no conceito de operação conjunto.

No capítulo V é definido e analisado o problema da presente dissertação, avaliando os requisitos de operação das duas plataformas segundo o processo de engenharia de sistemas para definição de soluções possíveis.

O capítulo VI apresenta a definição do conceito de operação do AUV a partir do submarino, tendo em conta o explanado no capítulo V e as pequenas modificações a realizar nas duas plataformas.

Para concluir, o capítulo VII apresenta as conclusões gerais e o trabalho futuro que dará seguimento e complementará o tema abordado na dissertação.



## CAPITULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---

### 2.1. Introdução

O objetivo da presente dissertação de mestrado assenta em dois pilares importantes, que sustentam o desenvolvimento do conceito de operação: veículos submarinos e estações de *docking* submarinas.

Como irá ser explanado nos dois subcapítulos seguintes, existem vários tipos de veículos submarinos, bem como estações de *docking*. Assim, antes de avançar, é fundamental enquadrar estas duas vertentes de estudo do presente trabalho neste contexto.

### 2.2. Veículos submarinos

#### 2.2.1. Contextualização

Os oceanos são um recurso que se encontra em constante alteração e que é alvo de investigação, tanto a nível militar como científico. A parte submersa dos oceanos é considerada ainda pouco conhecida, incentivando o desenvolvimento de plataformas que auxiliem nessa tarefa.

Desde o início do século XX que os avanços tecnológicos e científicos na área dos veículos submarinos têm sido mais evidentes, decorrente da necessidade de exploração e conhecimento do oceano. A nível militar e operacional das Marinhas estes avanços foram sentidos posteriormente aos primeiros desenvolvimentos na comunidade científica.

Inicialmente foram desenvolvidos veículos submarinos ocupados por humanos (e.g. submersíveis) que evoluíram, mais tarde, para veículos submarinos não tripulados. Esta evolução permitiu priorizar as condições de segurança e a integração das pessoas apenas como operadores externos dos veículos.

Os veículos submarinos podem ser classificados em dois tipos de veículos, que se diferenciam pelo modo de operação (tripulado ou não tripulado). A figura 4 explica as várias classes de veículos submarino:

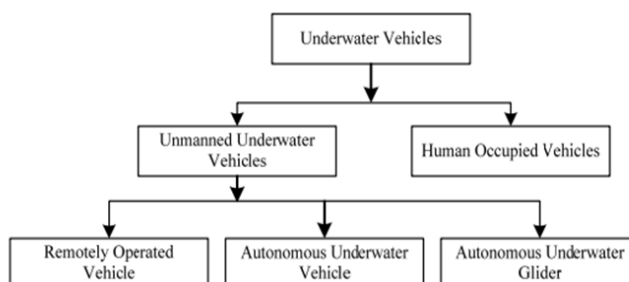


Figura 4 -Veículos Submarinos.

Os *Unmanned Underwater Vehicles* (UUV's) são veículos submarinos não tripulados que se dividem em três categorias: os *Autonomous Underwater Vehicles* (AUV's), os *Remotely Operated Vehicles* (ROV's) e os *Autonomous Underwater Gliders*<sup>9</sup>.

O AUV é um veículo submarino autónomo que possui a capacidade de operação independente do operador, i.e., de forma autónoma. Estes veículos possuem a sua própria energia e sensores integrados que permitem a execução de tarefas a partir de comandos pré-definidos.



Figura 5 - AUV REMUS.

O ROV, ao contrário do AUV, é operado remotamente com ligação à superfície (ou à plataforma-mãe) por intermédio de um cabo umbilical (cabo de potência<sup>10</sup> e fibra ótica). Este cabo assegura a comunicação bidirecional, assim como o transporte de dados e energia para o veículo. As plataformas que auxiliam a operação deste tipo de veículos submarinos encontram-se dependentes deste, pois o ROV necessita de constante operação e monitorização. Portugal possui um ROV utilizado em operações com a Marinha, no âmbito do Projeto da Extensão da Plataforma Continental (PEPC), adquirido em 2008 – ROV LUSO.

<sup>9</sup> *Glider* – Hidroplanador em Inglês.

<sup>10</sup> Um cabo de potência permite o transporte de energia elétrica de um ponto para outro.



Figura 6 - ROV LUSO.

Os *Gliders* são AUV's que não possuem um módulo de propulsão (motores e hélice) para adquirirem seguimento, pois utilizam a própria variação de flutuabilidade para se deslocarem. Estes veículos convertem a energia vertical das variações de flutuabilidade (efeito das correntes marítimas) em energia horizontal (direção do movimento). Apesar de menos complexos a nível de *software*, estes veículos podem incorporar vários sensores para efetuarem recolhas de dados meteorológicos e oceanográficos, bem como para o posicionamento (*Global Positioning System* - GPS). Estes veículos possuem a capacidade de permanecerem largos períodos em operação e percorrer grandes distâncias, não estando condicionados pelo carregamento das baterias (alguns *gliders* possuem painéis solares), e.g. *wave glider*<sup>11</sup>.



Figura 7 - Wave Glider.

Neste capítulo será abordada a temática dos AUV's descrevendo os avanços tecnológicos de algumas entidades estrangeiras, bem como o desenvolvimento do conceito de estações de *docking* submarinas.

---

<sup>11</sup> Veículo constituído por duas componentes: uma à superfície e uma submersa, movido a energia das ondas e alimentado a energia solar (desenvolvido pela empresa Liquid Robotics).



### 2.2.2. Autonomous Underwater Vehicles

O crescente interesse na pesquisa e exploração dos oceanos tem levado ao surgimento de diversos tipos de tecnologias que permitem facilitar a acessibilidade a esses meios. Os AUV's têm sido desenvolvidos de forma a dar resposta a estas solicitações, apresentando diversas formas, tamanhos, e sistemas de comando e controlo. Os mais comuns são os veículos que apresentam formas cilíndricas e modulares, em que o sistema de propulsão integra uma hélice (instalada na secção posterior) e o sistema de controlo da direção e profundidade é executado pela deflexão dos lemes, tanto na vertical como na horizontal.

Na sua maioria, os AUV's são acompanhados por um *software* de comando e controlo, que permite a interface entre o operador e o veículo. O diagrama 2 caracteriza o SBS genérico de um AUV, permitindo a visualização de todos os sistemas que este tipo de veículos pode integrar:

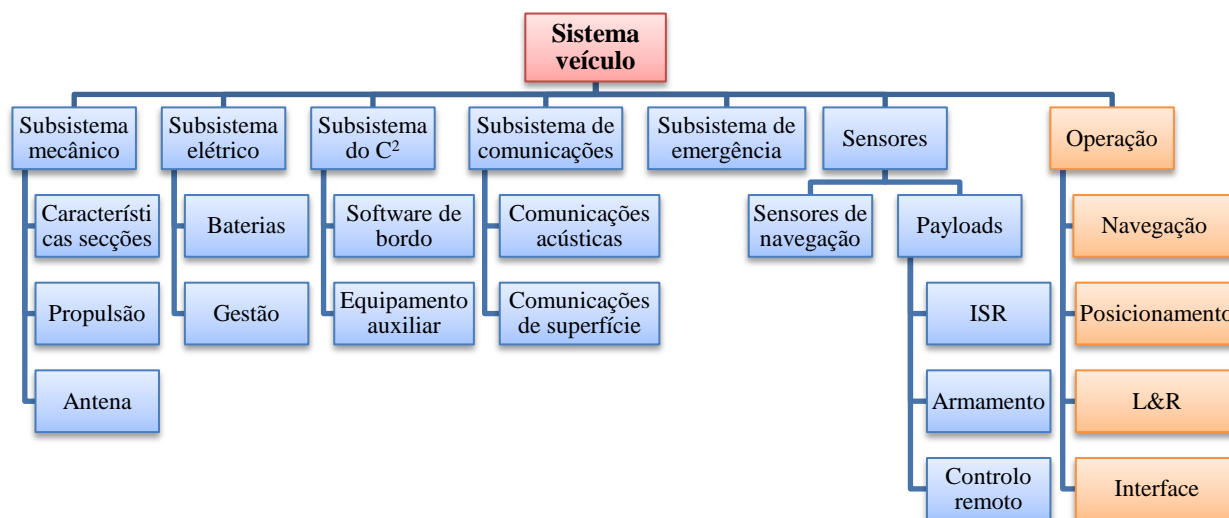


Diagrama 2 - SBS AUV.

Os AUV's podem ser classificados em três categorias, consoante a área onde operam e, consequentemente, as suas dimensões:

- *Shallow Water Survey AUV's*: veículos de pequenas dimensões para pesquisa em águas pouco profundas (até aos 100 metros de profundidade);



- ***Middle Water AUV's***: veículos para operar em águas intermédias (500 a 1000 metros de profundidade);
- ***Deep Water AUV's***: veículos para operar em águas profundas (mais de 1000 metros de profundidade).

Os *Shallow Water Survey AUV's* assumem dimensões até aos 2 metros de comprimento e 50 quilogramas de peso, de forma a operarem mais próximo de costa onde as correntes são um fator mais influente. A velocidade deste tipo de AUV's é superior aos restantes devido à zona onde operam. Estes AUV's estão essencialmente vocacionados para missões de pesquisa oceanográfica, operando tanto à superfície como em profundidade.

Os *Middle Water AUV's* têm cerca de 2 a 3 metros de comprimento e possuem entre 50 a 500 quilogramas de peso, consoante os *payloads* que integram. Estão vocacionados para missões de pesquisa ao longo da coluna de água e junto ao fundo.

Os *Deep Water AUV's* são veículos de maiores dimensões (3 a 6 metros de comprimento e mais de 500 quilogramas) que operam longe de costa, onde as pressões exercidas pelo oceano são superiores às restantes zonas. Estes AUV's têm a capacidade de integrar a bordo *payloads* de grandes dimensões e de maior resolução, vocacionados para missões de pesquisa mais longas. Este tipo de AUV's tem a necessidade de se deslocar a velocidades reduzidas de forma a executar levantamento de dados junto ao fundo do oceano (Shah, 2007).

A figura 8 apresenta a aplicação dos AUV's, segundo a dimensão, às várias áreas de investigação requeridas para estes veículos.

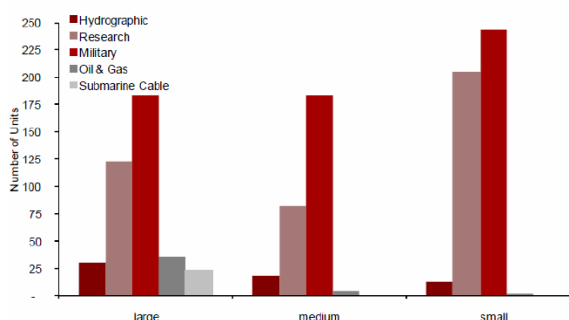


Figura 8 - Aplicação dos AUV's.



Comparando os dados do gráfico é possível concluir que a vertente de investigação científica e hidrográfica está presente em todos os tipos de AUV's. Estas componentes foram a base do desenvolvimento dos AUV's.

É possível também verificar que a vertente militar está presente com bastante relevância na aplicação dos AUV's, sendo a que mais contribuirá para o desenvolvimento destes veículos num futuro próximo.

### **2.2.3. Utilização operacional**

A utilização dos AUV's por parte das Marinhas tem demonstrado um crescimento exponencial ao longo dos anos, desenvolvendo bastante a sua vertente operacional.

A maioria dos AUV's desenvolvidos e operados pelas Marinhas no Mundo são vocacionados para missões de ISR, principalmente em *shallow waters*. A capacidade de integração de vários sensores, possível alteração destes com facilidade e a habilidade para atingirem locais onde outras plataformas não podem ir, confere uma grande vantagem a estes veículos. A recolha de dados para monitorização portuária, como o objetivo de desembarque de forças especiais em terra, é um dos exemplos de operação dos AUV's neste âmbito.

Grande parte dos AUV's possui também a capacidade de operação em missões MCM. Este tipo de missão engloba vários processos, como a deteção, classificação, identificação, localização, remoção do local (caso necessário) e proteção contra minas. Em alguns destes, os AUV's vêm substituir os mergulhadores, que constituíam até agora a componente principal de defesa contra a ameaça de minas.

Na vertente MCM os AUV's necessitam do auxílio de plataformas de superfície, consoante o tipo e as especificidades deste (Button, Kamp, Curtin & Dryden, 2009).

Algumas Marinhas utilizam também os seus AUV's em missões de *Anti-Submarine Warfare* (ASW), para deteção de movimentos provenientes de potenciais submarinos adversários (e.g. EUA).

A aplicação em missões de reconhecimento oceanográfico é também uma importante vertente dos AUV's, podendo recolher dados dos parâmetros oceanográficos da água



(caracterização da coluna de água) ou do mapeamento do fundo. Estes permitem também o envio dos dados para uma plataforma-mãe (de forma imediata ou no final da missão) para posterior análise e processamento.

No Anexo A do presente trabalho encontra-se uma tabela que enumera alguns dos AUV's desenvolvidos em vários países, e quais são operados pelas marinhas no Mundo.

## **2.3. Estações de *Docking***

### **2.3.1. Contextualização**

Com o avanço tecnológico, os veículos submarinos têm vindo a ser desenvolvidos com vista a aplicações mais específicas, nomeadamente a exploração do oceano e a recolha de dados. O procedimento mais comum na operação com AUV's é o lançamento e recolha por parte de navios ou outras plataformas de superfície, transferência dos dados e carregamento das baterias do AUV.

Face à necessidade de progresso, foram desenvolvidas estações que permitem prolongar a permanência dos veículos submarinos no local de operação, tornando-os mais “adaptáveis” ao meio envolvente e menos dependentes das plataformas de superfície (plataforma-mãe).

Estas estações submarinas possibilitam o *docking* (docagem) dos AUV's de forma a estes permanecerem imóveis debaixo de água, ficam enclausurados ou presos a uma plataforma.

O processo de *docking* baseia-se no *homing & terminal guidance system* (sistema de direção e guiamento) do próprio veículo. Tipicamente este processo organiza-se três etapas: *loitering*, *tracking* e *docking*.

O *loitering* caracteriza-se pela navegação do AUV ao longo de um conjunto de pontos pré-definidos (*waypoints*). O AUV realiza *loitering* até se aproximar o suficiente da estação de *docking* e “adquirir” sinal acústico desta, de forma a encaminhar-se para o local. O *tracking* ocorre quando o AUV localiza a estação e recebe a posição desta em curtos intervalos de tempo. Quando o AUV “encontra” a estação procede ao *docking*, i.e., atinge a estação e fixa-se a esta. Todo este processo é assegurado pelos sistemas e sensores instalados no veículo e na estação de *docking* submarina.





Para o *docking* submarino autónomo deve-se ter em conta várias questões, nomeadamente, o próprio veículo, o *homing & terminal guidance*, a estrutura física e mecânica da estação, o sistema de captura e, consoante o objetivo do *docking*, o sistema de controlo. A questão da aproximação à estação de *docking* é uma das que exige maior desenvolvimento por parte do AUV. É nesta fase que este sofre maior influência das condições do meio envolvente (e.g. correntes, variações de densidade) e a navegação do AUV está mais suscetível a erros. O AUV corrige o seu posicionamento a partir dos sistemas e sensores instalados, procedendo à aproximação à estação de *docking* (Podder, Sibenac & Bellingham, 2004).

Um dos grandes desafios do *docking* é a questão da fiabilidade da navegação e o rigor de posicionamento *underwater* (submerso). Apesar de existirem diversos conceitos e estruturas de *docking*, este ainda não se encontra completamente definido (Podder, Sibenac & Bellingham, 2004).

As estações de *docking* submarinas podem assumir diversas formas, mediante a sua especificidade. No que diz respeito aos veículos submarinos autónomos, estas estações podem ser vocacionadas para: recolha de dados do AUV ou passagem de códigos básicos, carregamento das baterias do AUV ou servir de plataforma de recolha do AUV.

Várias universidades e empresas estrangeiras têm vindo a desenvolver o conceito de *docking* submarino, contribuindo para o seu desenvolvimento.

A duas secções seguintes descrevem alguns dos tipos de estruturas de estações de *docking* submarinas fixas e o processo de recolha de UUV's a partir do submarino (como plataforma de *docking*).

### **2.3.2. Tipos de estações de *docking***

Existem vários tipos de estações de *docking*, que, de uma forma geral, são decompostas em vários subsistemas conforme o SBS seguinte:

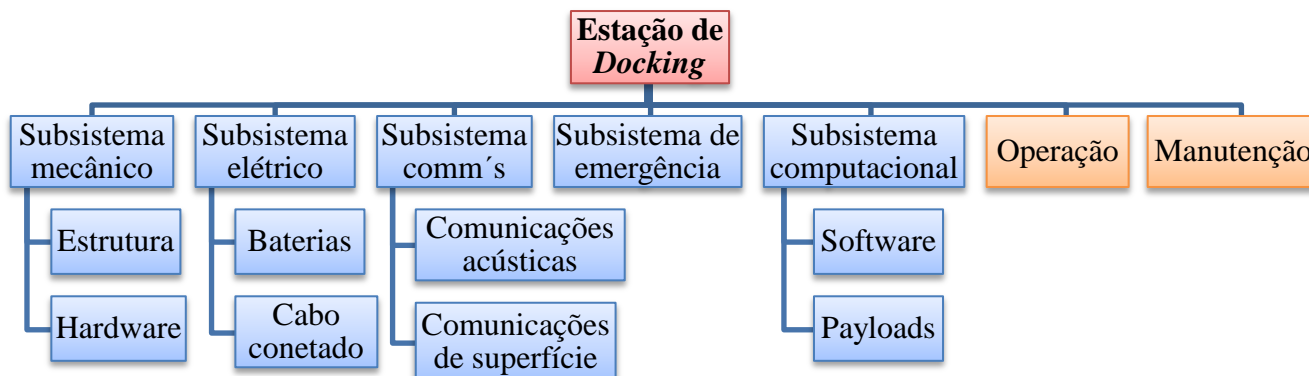


Diagrama 3- SBS da estação de *docking*.

A abordagem nesta secção será a partir do tipo de estrutura, considerando exemplos desenvolvidos por algumas empresas.

As estações de *docking* com estrutura unidirecional apresentam um formato em cone, funil ou gaiola, consoante o tipo de AUV utilizado e as características do *docking*. Este tipo de *docking* possibilita a inclusão do AUV, fornecendo uma boa proteção ao veículo e várias alternativas de conexão com a estação (transferência de dados ou carregamento de baterias). Como estas estações apresentam apenas uma abertura para entrada do AUV, este necessita de conhecer a posição e orientação da estação para assegurar a devida correção da navegação.

Como exemplos deste tipo de estações existem: a MBARI<sup>12</sup> *Docking Station*, desenvolvida pelo MBARI (instituto de pesquisa científica da Califórnia); o REMUS<sup>13</sup> *Dock*, desenvolvido pela Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI) (instituto oceanográfico de Woods Hole); o NRad<sup>14</sup> - *Flying plug*, desenvolvido pela Space and Naval Warfare Systems Command (SPAWAR) (um dos cinco comandos da Marinha dos EUA que detém a autoridade técnica e a responsabilidade pelo *Command, Control*,

<sup>12</sup> MBARI - Monterey Bay Aquarium Research Institute.

<sup>13</sup> REMUS - Remote Environmental Monitoring Unit.

<sup>14</sup> NRad - Naval Research and Development.



*Communications, Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance* (C4ISR) e a Kriso - Kordi Dock, desenvolvida pelo Korea Ocean Research and Development Institute KORDI (organização de pesquisa do oceano da Coreia).

As estações de *docking* com estrutura omnidirecional são constituídas por um polo (vara), onde o AUV encaixa e um mecanismo que o fixa à estação. A aproximação do AUV é omnidirecional (várias direções) podendo direcionar-se a favor da corrente, o que torna o *homing & guidance* do AUV mais simples e, consequentemente, menor o erro de navegação assumido.

As estações de *docking* omnidirecionais podem ser utilizadas por vários tipos de AUV's, pois são necessárias apenas algumas modificações físicas para que estes se adaptem à estação. A complexidade deste tipo de estações submarinas está presente no *hardware* específico (e.g. gancho) que o AUV necessita de ter, por forma a realizar o *docking* (fase terminal). Também a transferência de dados e o carregamento de baterias são procedimentos mais complexos que os utilizados no tipo de estação unidirecional.

Como exemplo deste tipo de estações existe o sistema de pesquisa oceânico AOSN<sup>15</sup> MURI (*Mooring Development and Operations*), desenvolvido pela WHOI.

Os dois tipos de estações de *docking* submarinas referidas anteriormente são os tipos mais comuns e que mais desenvolvimentos têm sofrido nos últimos anos. Mas existem outros tipos, como as estruturas multi-direcionais, sob a forma de pirâmide, onde existem quatro direções de entrada na estação ou as do tipo *Hook & wire*, como o sistema de *docking* desenvolvido pela Kawasaki, o Kawasaki *docking system*.

Em algumas missões de caráter científico, as estações de *docking* submarinas aplicadas aos AUV's aumentaram consideravelmente a qualidade e quantidade de dados recolhidos, relativamente a outras plataformas (navios, instrumentos rebocados ou ROV's).

### **2.3.3. Operação a partir de um Submarino**

A utilização do submarino como plataforma de lançamento e recolha de AUV's permite aumentar a sua capacidade de permanência no mar, contribuindo eficazmente para a manutenção da postura *covert* do submarino durante a missão.

---

<sup>15</sup> AOSN - *Autonomous Ocean Sampling Network*.



Na última década têm vindo a ser testadas formas de lançamento (*launch*) e recolha (*recovery*) de AUV's a partir de submarinos. A Marinha dos EUA verifica um dos maiores avanços nesta área, tendo este conceito desenvolvido e testado com a cooperação da Boeing Defense, Space & Security<sup>16</sup>.

O AN/BLQ-11 LMRS (*Long Term Mine Reconnaissance System*) é o AUV utilizado pela Marinha dos EUA (desenvolvido pela empresa Boeing) para os testes de lançamento e recolha a partir do submarino (submarinos da Classe *Los Angeles*, *Virginia* e *Seawolf*)<sup>17</sup>. Este apresenta um formato tipo torpedo e tem 6,1 metros de comprimento e 0,53 metros de diâmetro, constituindo um AUV de grandes dimensões. O AUV é vocacionado para missões de MCM, tendo sido desenvolvido para operar a partir do submarino.

Na operação com o AUV o submarino utiliza um sistema desenvolvido pela Marinha dos EUA, o *torpedo tube launch and recovery system*, que consiste na implementação de uma estrutura no tubo lançador de torpedos para lançamento e recolha do AUV.

O lançamento e início do seguimento do AUV são efetuados de modo semelhante aos torpedos: lançamento, por impulsão, e monitorização pelos sistemas de bordo do submarino. Quanto à recolha é efetuada a partir de um braço robótico instalado no tubo (desenvolvido também pela empresa Boeing) que encaminha o veículo para o interior do tubo do submarino.



Figura 9- Braço robótico de recolha do AUV.

O lançamento do AUV pelo tubo lança torpedo foi testado pela primeira vez em 2005, a partir do submarino USS *Oklahoma City*. A recolha pelo tubo lança torpedos apenas foi testada com sucesso em 2007, a partir do submarino USS *Hartford* (SSN-768).

<sup>16</sup> Unidade da Boeing Company responsável pelos produtos e serviços de defesa (armamento) e estudo do espaço aéreo.

<sup>17</sup> Três classes de submarinos nucleares da Marinha dos EUA.

A empresa BMT Group (BMT Defence Services)<sup>18</sup> desenvolveu um conceito de recolha de AUV's a partir do submarino, tendo em conta a fixação de uma estação de *docking* cónica (semelhante à desenvolvida pela MBARI) num *Dry Deck Shelter* (DDS) (Fedor, 2009).

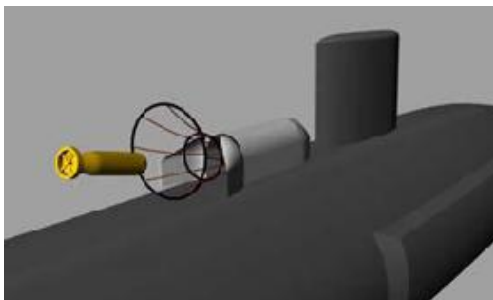


Figura 10 - Utilização da estação de *docking* em cone no submarino.

O DDS é um módulo que pode ser adicionado ao submarino para entrada e saída de mergulhadores, quando este se encontra em imersão. Esta estrutura é considerada uma doca “seca” (*dry*) pois possui um compartimento estanque no seu interior. É utilizada por alguns dos submarinos da Marinha dos EUA (e.g. Classe *Ohio*<sup>19</sup>), sendo aplicada no lançamento e recolha de AUV's. Esta operação com os AUV's pode ser assistida por mergulhadores ou forças especiais que embarcam no DDS.

A fixação da estação de *docking* à entrada da DDS confere uma maior proteção ao AUV e permite alinhar o veículo para transferência de dados e carregamento de baterias.

A Marinha Real Britânica utiliza um sistema semelhante de lançamento e recolha de AUV's, também desenvolvido pela BMT Defence Services.

---

<sup>18</sup> Empresa sediada no Reino Unido que desenvolve projetos em várias áreas (marítima, comercial e energética) e apoia os clientes em todo o ciclo de vida do projeto.

<sup>19</sup> Classe de submarinos nucleares da Marinha dos EUA que possui a capacidade de lançamento de mísseis balísticos (SSBN - *Ship Submersible Ballistic missile Nuclear powered*) ou de mísseis guiados (SSGN – *Ship Submersible Guided missile Nuclear powered*). Os SSGN permitem também o embarque e apoio a forças de operações especiais (SOF - *Special Operations Forces*) a partir do DDS.

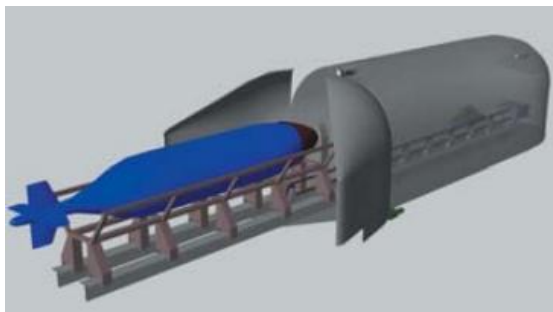


Figura 11 - “Wet” *Casing Mounted Hangar*.

O *Casing Mounted Hangar* é utilizado nos submarinos convencionais, contrariamente ao DDS na Marinha dos EUA, e é um módulo “molhado” (*wet*) adicionado ao submarino e equipado com uma estrutura para lançamento e recolha do AUV (Hardy & Barlow, 2008).

Este conceito é aplicado ao AUV HUGIN 1000, que é um AUV de grandes dimensões.

Como este módulo é utilizado por submarinos convencionais (mais pequenos que os nucleares) existe a possibilidade de o AUV ser lançado mais próximo de costa, maximizando a eficácia da sua operação.

Outro sistema utilizado pela Marinha dos EUA é o *Universal Launch and Recovery Module* (módulo universal de lançamento e recolha) desenvolvido pela empresa General Dynamics<sup>20</sup>.

Este sistema é *standard* e permite o lançamento de AUV’s a partir do tubo lançador de mísseis dos submarinos SSGN.

---

<sup>20</sup> Companhia americana principal fornecedora dos navios da Marinha dos EUA (empresa Electric Boat) que projeta e constrói navios de superfície e também submarinos.

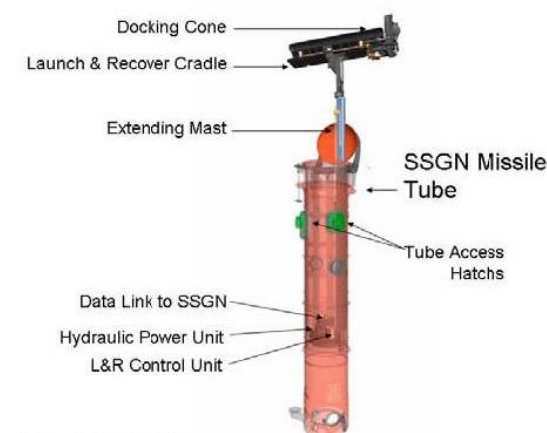


Figura 12 - *Universal Launch and Recovery Module*.

O módulo é constituído por um mastro extensível e um berço para recolha do AUV, que quando este se encontra fixo adota a posição vertical e recolhe ao tubo. O berço possui um cone para *docking* com 0,90 metros de diâmetro e *transponders* (faróis) acústicos para posicionamento do AUV. O *Universal Launch and Recovery Module* (ULRM) é alojado dentro de uma estrutura, posteriormente colocada dentro do tubo de lançamento dos mísseis.

Este módulo de lançamento e recolha do AUV apresenta algumas vantagens relativamente a outros sistemas, principalmente no que diz respeito à estrutura incorporada na configuração já existente do submarino (i.e. tubo de lançamento dos mísseis). Os tubos possuem uma escotilha superior (para saída do míssil/AUV) e uma inferior, onde são carregados os mísseis e que permite a manutenção do AUV (Stewart & Pavlos, 2006).

Em 2003 foram realizados testes com o UUV *Seahorse*, a partir do submarino USS *Florida*<sup>21</sup>. Este UUV é considerado um veículo de grandes dimensões, mas foi testado com sucesso no lançamento e recolha a partir do ULRM, confirmando a viabilidade deste módulo.

No que diz respeito a veículos de menores dimensões, o ULRM permite o armazenamento e operação até seis veículos em cada tubo (e.g. AUV *Bluefin-21*).

<sup>21</sup> Integra a Classe *Ohio* dos submarinos da Marinha dos EUA.

Outro conceito de lançamento e recolha de AUV's a partir do tubo lança torpedos do submarino foi desenvolvido pela empresa Saab Underwater Systems<sup>22</sup> e tem em conta a operação do AUV com auxílio de um ROV.

O sistema SUBROV consiste num ROV que opera a partir do submarino utilizando o tubo lança torpedos e numa consola de operação instalada a bordo do submarino. Este ROV encontra-se ligado ao submarino por intermédio de um cabo que permite o envio de comandos e o carregamento de baterias (pode operar com a energia de bordo ou proveniente do submarino).

Este sistema possui a capacidade de executar missões de inspeção submarina e de MCM, funcionando como plataforma para comunicações *underwater*, à superfície (equipado com uma antena) e estação de *docking* ativa (não fixa) para AUV's. (Bremer, Cleophas, Fitski & Keus, 2007).

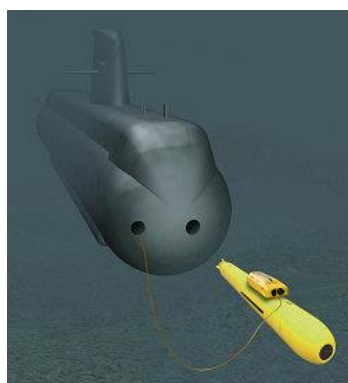


Figura 13 - Recolha do AUV pelo SUBROV.

O SUBROV está equipado com um cabo que envolve o AUV e com um instrumento de fixação que permite ao AUV acoplar-se ao ROV. Depois procede ao encaminhamento para o tubo lança torpedos e o AUV é recolhido, enquanto o ROV recua e é recolhido por outro tubo, se for caso disso. Todo o processo é auxiliado e monitorizado por duas camaras e um sonar instalados no ROV. O SUBROV permite também a transferência de dados e carregamento de baterias do AUV quando este se encontra fixo ao SUBROV (Siesjö, J).

---

<sup>22</sup> A Saab Underwater Systems é um ramo da empresa Saab destinado à *underwater security* (segurança debaixo de água) que promove vários projetos no âmbito dos veículos submarinos e plataformas de apoio.





O AUV testado com este sistema foi o AUV62-MR (*Mine Reconnaissance*), também desenvolvido pela empresa Saab, com 6,5 metros de comprimento e 0,53 metros de diâmetro.



## CAPITULO III - PROJETO SEACON

---

### 3.1. Introdução

#### 3.1.1. Parceria Marinha portuguesa/FEUP

Surgiu em 2004, explanado no Sistema de Forças Nacional (SFN04), o interesse da Marinha desenvolver a capacidade de Guerra de Minas e formar um destacamento vocacionado e equipado com técnicas *Mine Countermeasures* (MCM) modernas (Destacamento de Guerra de Minas). No seguimento desta necessidade surgiu ainda a intenção de integrar veículos submarinos autónomos nas operações, essencialmente em águas pouco profundas, aumentando assim a eficácia e eficiência do destacamento.

No decorrer da investigação desenvolvida pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) na área dos veículos submarinos autónomos e na necessidade de operacionalização destes, foi assinado em 2006 um protocolo entre esta Faculdade e a Marinha. Este protocolo veio formalizar a cooperação entre estas duas entidades para um interesse comum, fomentando a investigação e desenvolvimento na área dos AUV's.

Por consequência, em 2007 foi apresentado ao Ministério da Defesa Nacional (MDN) o projeto SeaCon que viu concluído as diligências em 2008 na assinatura do protocolo relativo à sua realização.

Em 2011 o projeto SeaCon teve o seu término, tendo sido entregues à Marinha três veículos e os seus respetivos sistemas de C<sup>2</sup>.

A cooperação das duas entidades neste projeto permitiu à Marinha a participação ativa no desenvolvimento destes veículos, principalmente no que diz respeito aos requisitos operacionais, expandindo a suas capacidades de Investigação e Desenvolvimento (I&D) a sistemas passíveis de serem utilizados no meio operacional e em operações reais (e.g. MCM).

#### 3.1.2. Enquadramento do projeto

O Projeto SeaCon surgiu da necessidade de Portugal, através da FEUP, equiparar-se a outros países, no que diz respeito ao desenvolvimento científico e tecnológico na área dos UUV's.



Com base nas parcerias com outras Faculdades e entidades estrangeiras que a FEUP detém no âmbito dos veículos autónomos (e.g. Europa e EUA), o desenvolvimento deste projeto tornou-se possível e bastante sustentável.

Este projeto é um sistema de treino, demonstração e desenvolvimento de conceitos de operação de múltiplos veículos autónomos. Tem como objetivo o desenvolvimento de veículos submarinos autónomos e consequente sistema de C<sup>2</sup>, possibilitando o emprego destes veículos em missões operacionais.

Os AUV's SeaCon, além do objetivo principal de integração em missões MCM, também podem integrar outras missões de caráter militar e público. Destas podem-se destacar: apoio na busca e salvamento marítimo, monitorização de objetos no fundo do mar em áreas como rios, estuários e portos e atuação como meio auxiliar em missões de índole científica.

O projeto SeaCon é constituído por vários componentes auxiliares, além dos próprios veículos, todos desenvolvidos no Laboratório de Sistemas e Tecnologia Subaquática (LSTS) da FEUP.

Os componentes do sistema SeaCon são os seguintes:

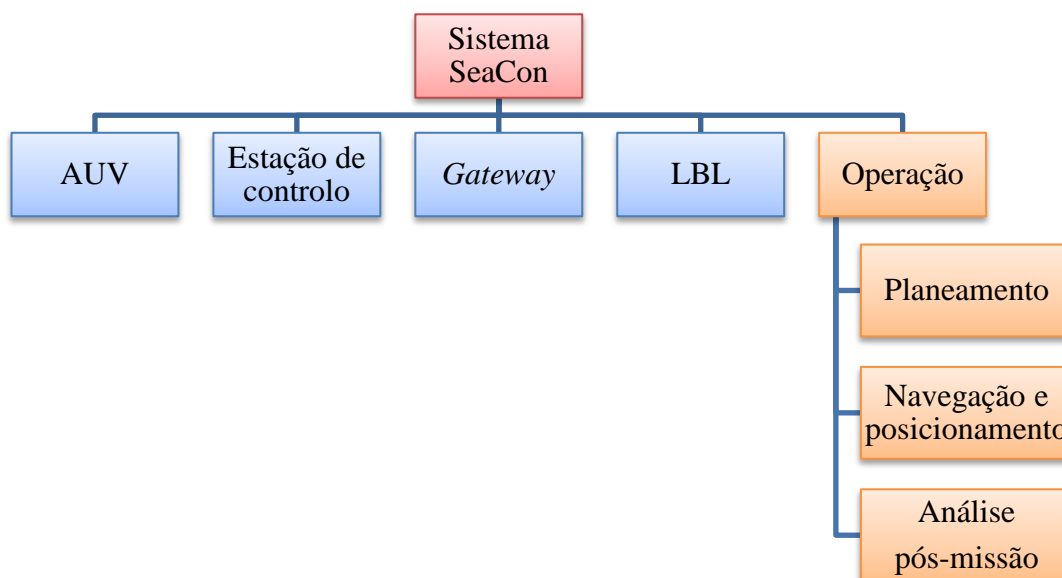


Diagrama 4 - SBS do sistema SeaCon.



### 3.2. AUV SeaCon

O veículo SeaCon é classificado como um *Light Autonomous Underwater Vehicle* (LAUV), pois é um veículo autónomo submarino com a capacidade de ser transportado manualmente (*one-man-portable*). Este veículo foi desenvolvido para realizar missões de forma autónoma ou em rede com outros veículos. Pode ser aplicado em diversas missões, como mapeamento de fundos oceânicos, busca e salvamento, recolha de dados oceanográficos e MCM.

O AUV SeaCon segue a estrutura genérica (SBS) de um AUV, apresentando-se agrupado por vários subsistemas como descrito no diagrama 5:

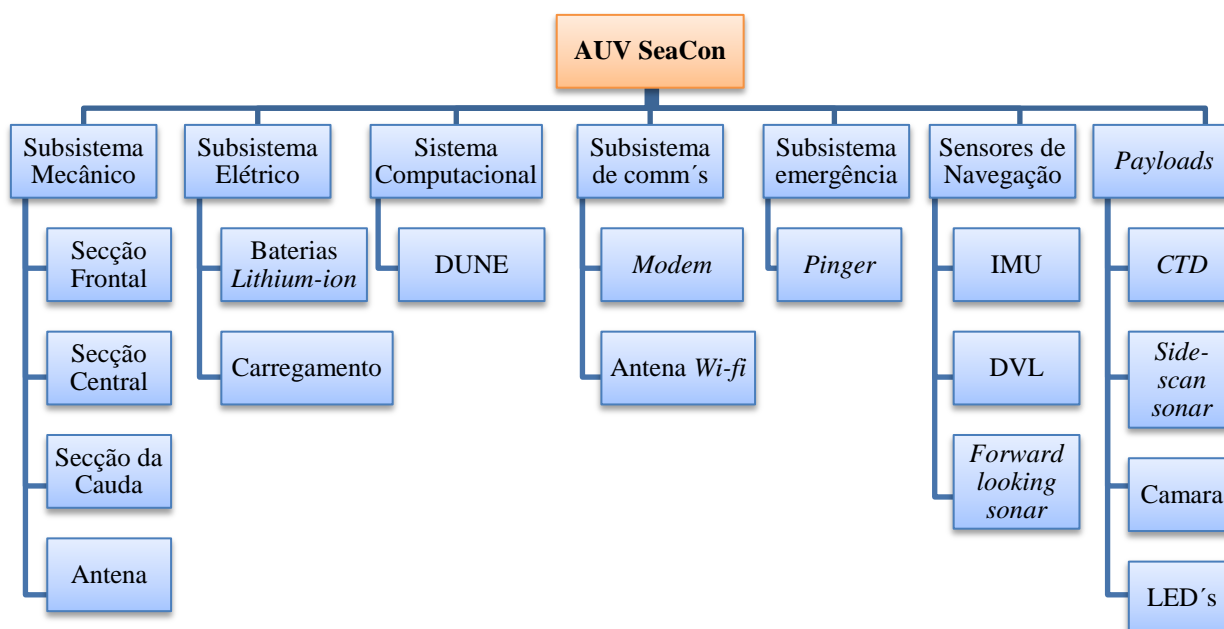


Diagrama 5 - SBS do AUV SeaCon.

#### 3.2.1. Subsistema Mecânico e Elétrico

As características-base do AUV são as seguintes:

- Comprimento do cilindro – 1,90 metros (consoante *payloads* instalados);
- Diâmetro do cilindro - 0,15 metros;
- Peso – 15 a 22 quilogramas;
- Velocidade máxima – 4 nós;

- Profundidade máxima de operação – 100 metros;
- Autonomia – cerca de 8 horas (3 nós).

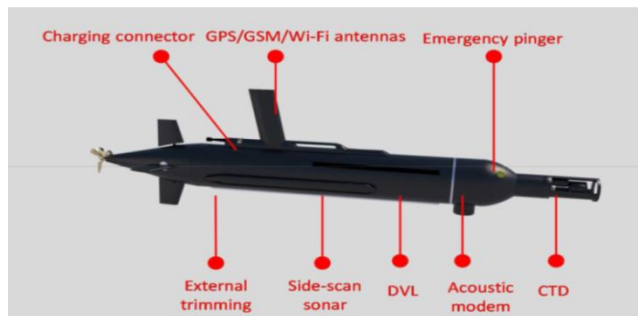


Figura 14 - Alguns sensores do AUV SeaCon.

O AUV SeaCon apresenta uma forma cilíndrica (formato de torpedo), o que lhe confere maior hidrodinâmica debaixo de água. É constituído por três secções: secção frontal, secção central a secção da cauda.

A antena do veículo integra: um recetor GPS, que garante o posicionamento do veículo à superfície com bastante rigor (erro máximo de dois metros), a antena *Wi-fi* para as comunicações à superfície e os Light-Emitting Diodes (LED's), que permitem verificar o estado do sistema a partir de luzes (ligado, desligado ou em comunicação com o operador).

É também construído de uma forma modular e com uma arquitetura aberta de modo a permitir a integração de vários sensores, bem como a introdução de módulos extra (mais sensores). Assim, quando necessário, é possível substituir um módulo (cada um contendo um ou mais sensores específicos) sem comprometer a integridade dos restantes. Estas alterações condicionam a flutuabilidade e estabilidade do veículo dentro de água, sendo importante a compensação do peso deste.

Quanto ao subsistema elétrico, o veículo integra três pacotes de baterias do tipo Li-Ion battery (*lithium-ion battery*), com a capacidade de 25,2 Ah (Ampére-hora<sup>23</sup>) cada.

<sup>23</sup> Unidade de quantidade de carga elétrica transferida por uma corrente estável de um ampère durante uma hora.



Estas baterias são recarregáveis (cerca de 6 horas) e, com carga total, gastam cerca de 80 Wh (Watt-hora<sup>24</sup>).

A maior parte da energia despendida pelo AUV é direcionada para o módulo da propulsão, apenas uma pequena parte é utilizada pelos sistemas e sensores de bordo. Este módulo integra o motor e o hélice do veículo. O motor é controlado por uma placa Broom<sup>25</sup> (desenvolvida na FEUP) que é conectado ao veio na secção da cauda do veículo (acoplamento magnético<sup>26</sup>), onde se encontra o hélice. Os lemes do veículo não constituem o módulo da propulsão, pois são um sistema independente. Os servos dos lemes são controlados por uma placa independente da placa do motor, permitindo a continuação da operação do veículo em caso de falha dos lemes.

### 3.2.2. Sistema computacional

O módulo computacional do AUV é formado por um módulo PC-104<sup>27</sup> com um *Central Processing Unit* (CPU<sup>28</sup>) Geode 500 MHz<sup>29</sup> da AMD (empresa Advanced Micro Devices). Este CPU é semelhante aos utilizados nos computadores portáteis, com uma arquitetura x86 (32 bits). Tem uma unidade *Floating-Point Unit* (FPU) que é módulo dentro do próprio chip, especialmente desenhado para processar operações matemáticas e que acelera substancialmente o processamento da informação. Integra também uma placa do processador principal e placas adicionais para interface com periféricos (sensores de navegação ou sistema de monitorização do estado do veículo). É utilizado um cartão de memória para armazenamento de dados, tanto do *software* de bordo, como de dados recolhidos pelos sensores durante uma missão.

A arquitetura do sistema é constituída por um *software* de bordo (DUNE), por um *software* de controlo externo (Neptus) e por um protocolo de comunicações que é partilhado por todos os componentes do sistema (IMC).

---

<sup>24</sup> Unidade de quantidade de energia utilizada para alimentar uma carga com potência de 1 watt pelo período de uma hora.

<sup>25</sup> Placa controladora do motor, que permite a giração do hélice.

<sup>26</sup> O acoplamento magnético possibilita que os veios não se encontrem fisicamente ligados, conferindo maior segurança ao veículo em caso de impacto na cauda (contrariamente ao acoplamento mecânico).

<sup>27</sup> O PC104 normalmente incorpora os módulos de computação de pequenas dimensões, sendo utilizado em sistemas de controlo de veículos.

<sup>28</sup> Unidade de processamento central (hardware) que integra o computador para proceder às instruções dos programas.

<sup>29</sup> *Mega-hertz* (ordem de grandeza 10<sup>6</sup>).



O DUNE é um *software* que corre apenas no veículo, permitindo ao sistema uma arquitetura e operação independentes da plataforma-mãe (consola de operação). É responsável pela interação entre os sensores e *payloads*, pelas comunicações, navegação, execução dos planos e *vehicle supervision* (referido anteriormente). Este *software* funciona como um mecanismo de troca de mensagens, em que diferentes *tasks* (tarefas) estão conectadas a um *bus*.

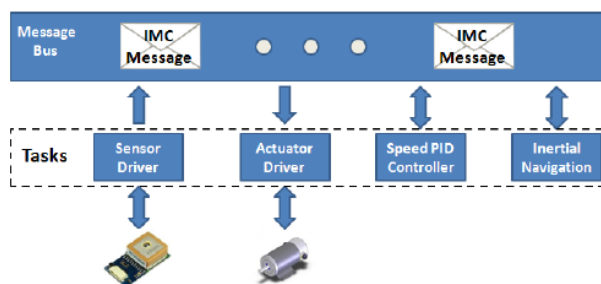


Figura 15 - Mecanismo de troca de mensagens do DUNE.

Cada *task* pode passar uma informação do sistema (e.g. se um sensor está operacional) e posteriormente esta informação irá ser utilizada por outra *task* correspondente à navegação ou guiamento do veículo. A configuração do veículo é mais fácil devido a este sistema, pois basta a permissão ou negação de algumas *tasks*, consoante a missão. O DUNE distribui os comandos pelos vários módulos do veículo, nomeadamente pelas placas que integram a propulsão e os lemes. As mensagens utilizadas pelo DUNE fazem parte do protocolo IMC.

O IMC define um protocolo de mensagens comuns a todos os nodos do sistema, as *tasks* do DUNE e o sistema Neptus. Este sistema visa a operação de múltiplos veículos e os seus sensores, criando uma “linguagem” comum.

O IMC é caracterizado por um ficheiro eXtensible Markup Language (XML) que pode ser traduzido em várias linguagens consoante a arquitetura do sistema. Assim sendo, o *software* dos vários componentes pode ser independente (isolado), pois a interface comum é o IMC.

O sistema SeaCon é constituído por vários componentes: os veículos, os sensores, as comunicações adjacentes, a consola de operação e o próprio operador. De forma a contornar todos estes nodos na rede do sistema, é utilizada uma abordagem por camadas



que controla os diversos componentes. Assim, é possível estabelecer interfaces comuns entre todos os componentes, de forma a existir coordenação entre si (Sousa, Pinto, Calado, Braga, Martins & Marques, s.d.).

A figura 16 representa a abordagem por camadas da arquitetura de controlo do sistema SeaCon.

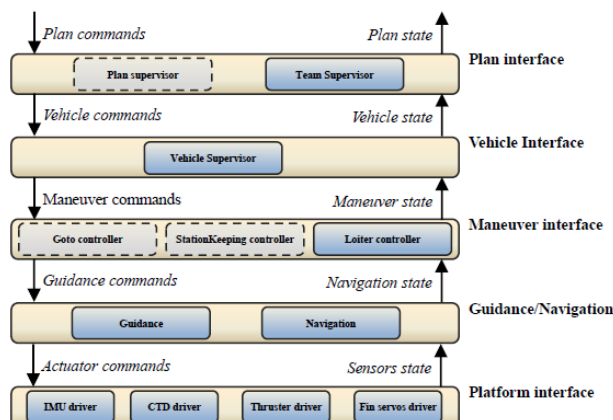


Figura 16 - Arquitetura AUV SEACON.

A sequência das camadas é definida segundo o estado do veículo, sendo no sentido descendente os *inputs* no veículo e ascendente os *outputs* de cada camada para a seguinte.

O veículo é constituído por sensores (interface de baixo nível) que são usados no *software* da navegação e *guidance* (orientação). Estes controlam o comportamento do veículo, atuando diretamente nos movimentos deste. Os *maneuver commands* (comandos de manobra) recebem os *inputs* do estado do veículo provenientes da navegação e geram o comportamento pretendido a partir dos *guidance commands*. Estes comandos são gerados por um *vehicle supervisor* (supervisor do veículo) a um nível mais elevado. Esta *interface* permite verificar se o sistema está a funcionar corretamente e corrige o comportamento do veículo de acordo com as especificidades da manobra. Possibilita a visualização do estado do veículo (níveis de bateria ou falhas de *hardware*) e possíveis violações de segurança, interrompendo a manobra deste caso ocorra algum erro. Os planos são enviados para o veículo a partir da consola de operação (Neptus) por intermédio do *plan supervisor* (supervisor do plano). O *team supervisor* (supervisor de equipa) controla a manobra de vários veículos em simultâneo, quando é esse o caso.



À exceção do *hardware* específico do veículo, todas as camadas têm *interfaces* comuns que permitem a flexibilidade do sistema, como o envio de comandos durante a missão.

A operação do AUV SeaCon contempla várias fases, desde o planeamento da missão, operação do veículo (navegação e posicionamento) até à recolha dos dados e análise pós-missão. Quanto ao planeamento, operação e análise pós-missão, estas fases serão descritas na secção 3.3 - Estação de controlo. A navegação e posicionamento do AUV serão abordados nesta secção.

O AUV SeaCon foi desenvolvido para atuar de forma mais autónoma possível, sendo equipado com sistemas e sensores que contribuem para essa autonomia.

No que diz respeito a posicionamento, o AUV movimenta-se segundo dois referenciais distintos: referencial do “Mundo” (relativo ao movimento da Terra) e referencial do veículo (relativo ao movimento do próprio veículo).

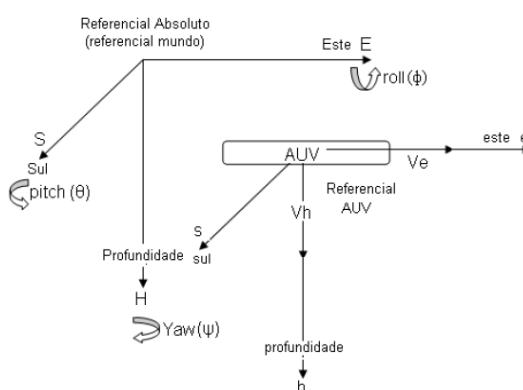


Figura 17 - Referenciais “Mundo” e do veículo.

O referencial do veículo tem origem no centro de massa do próprio veículo, não sendo considerado móvel (ao contrário do referencial “Mundo”). Este referencial é considerado não inercial (movimenta-se com o veículo) e é orientado segundo a própria orientação do veículo.

O posicionamento do veículo pode assumir duas formas: localização relativa, baseada nas posições anteriores do veículo para cálculo da posição atual (acumulação de erros ao longo do tempo) e localização absoluta, baseada na localização do veículo a cada instante relativamente ao referencial do “Mundo”.



Para a localização relativa o AUV SeaCon utiliza os sensores de navegação inercial (e.g. IMU) e os sensores de posicionamento relativamente ao espaço (e.g. DVL e bússola magnética). Na localização absoluta é utilizado o GPS *modem* e o acústico (posicionamento *underwater*).

Este veículo possui, tanto autonomia na navegação como autonomia de decisão. A autonomia na navegação corresponde à capacidade de navegação com reduzida percentagem de erro na estimativa quando em imersão. Quando o veículo “perde” o sinal GPS utiliza um algoritmo de navegação (*software*) que permite calcular o posicionamento estimado, utilizando apenas os sensores de bordo e o sistema LBL. Este algoritmo de navegação baseia-se no *Inertial Navigation System*<sup>30</sup> (INS) que integra a IMU. Contudo, este sistema não se encontra isento de erros, sendo necessário a implementação de um filtro que minimize estes erros, tanto das medições dos sensores, como do próprio movimento do veículo (Sousa, Braga & Healey, s.d.).

O algoritmo de navegação integra vários filtros de navegação, sendo um deles o Filtro de Kalman<sup>31</sup> (*Extended Kalman Filter* – EKF). Este Filtro é um algoritmo que permite estimar o estado de um sistema dinâmico a partir de uma série de medições ruidosas ou incertas. Necessita apenas do estado anterior e da medição atual para calcular o estado atual do sistema. Baseia-se na atribuição de diferentes pesos às grandezas consoante o seu nível de incerteza, sendo normalmente o maior peso dado à grandeza de menor incerteza (Santos, 2008).

O AUV utiliza também as medições do DVL (altitude e velocidade relativamente ao fundo) e dos giroscópios (IMU) como fator de correção da navegação, respetivamente no que diz respeito à compensação da rotação da Terra e declinação magnética.

A autonomia de decisão corresponde à capacidade de decidir e agir em diferentes ambientes (e.g. *obstacle avoidance*). Apesar de o operador definir os planos de missão do veículo, este têm a capacidade de “agir” de forma diferente da esperada, adaptando-se ao meio envolvente e tornando-se menos suscetível a situações inesperadas. Este processo

---

<sup>30</sup> Sistema de navegação inercial.

<sup>31</sup> Este algoritmo calcula parâmetros de interesse a partir de medições de grandezas indiretas e incertas realizadas ao longo do tempo, que tendem a aproximar-se dos valores reais das grandezas medidas. Apresenta uma estimativa ótima para a redução da incerteza das medições, sendo usualmente utilizado como algoritmo de fusão de sensores. Mas, o filtro de Kalman encontra-se também sujeito às imprecisões e incertezas de qualquer modelo estimativo (Sousa, 2008).



contempla duas categorias: a sustentabilidade, que é a capacidade do veículo para fazer face a algum erro interno do sistema; e a adaptabilidade, que se designa pela capacidade do veículo para ultrapassar algum fator externo inesperado do ambiente envolvente.

A adaptabilidade do AUV permite que este, face a um obstáculo, o evite ou contorne (*obstacle avoidance*). Os valores de altitude registados pelo DVL e as distâncias medidas pelo *forward-looking sonar* possibilitam monitorizar os parâmetros “normais” de operação do veículo. Quando estes valores reduzem consideravelmente (menos de um metro), o AUV tenta corrigi-los de forma a voltarem ao intervalo de valores “normais”. Em caso de aproximação excessiva do fundo o veículo tem a capacidade de parar o motor de modo a atingir uma profundidade de segurança para prosseguir a missão. Caso o obstáculo seja algum objeto que bloqueie o caminho (e.g. uma parede), o veículo aborta a missão.

Estes processos alteram a configuração do sistema de navegação do veículo, sendo necessário a constante atualização e replaneamento da missão.

### 3.2.3. Subsistema de comunicações e emergência

O subsistema de comunicações é assegurado, à superfície, pelo *Wi-fi* e pelo *Global System for Mobile Communications* (GSM). As comunicações *Wi-fi* são geridas pela placa MiniStation da empresa Ubiquiti Networks e integram um suporte SDK<sup>32</sup> (Software Development Kit) para o Linux. O GSM é assegurado por um *modem* 3G E1550 da empresa Huawei, que é uma *pen* 3G igual às utilizadas comercialmente. A *pen* liga diretamente a um HUB USB<sup>33</sup> que se encontra conectado ao módulo computacional. Este permite a comunicação com o cartão SIM da *pen* para poder enviar/receber mensagens.

Quanto às comunicações *underwater*, o veículo possui um *micro-modem* acústico de baixa potência desenvolvido pela WHOI, que comunica a partir do envio e receção de sinais acústicos na banda de frequência entre 18 e 34 kHz.

Em caso de emergência (e.g. falha do sistema) o AUV vem à superfície (caso seja programado para isso) e envia sinais acústicos através de um *pinger* independente de forma a facilitar a localização (frequência fixa de 70 kHz).

---

<sup>32</sup> Kit de desenvolvimento de aplicativos para suporte dos operadores.

<sup>33</sup> HUB Universal Serial Bus - dispositivo que permite a expansão de uma porta USB em várias outras.



### 3.2.4. Sensores de Navegação e Payloads

O AUV possui vários sensores a bordo que permitem a recolha e processamento de dados em tempo real (sensores para navegação) ou o armazenamento para posterior recolha e análise (alguns *payloads*) (Bingham, 2009).

Os sensores do veículo podem então ser divididos em dois grupos:

- Sensores de navegação:
  - *Inertial Measurement Unit* (IMU) e *Attitude Heading Reference System* (AHRS);
  - *Doppler Velocity Log* (DVL);
  - *Forward Looking Sonar*;
  - Recetor GPS , antena *Wi-fi* e *Iridium*;
  - *Modem* acústico.
- *Payloads*:
  - Sensor CTD (*Conductivity, Temperature and Depth*);
  - *Side-Scan Sonar*;
  - Camera Digital e LED's<sup>34</sup>.

Os sensores de navegação têm a função de recolha de dados para o cálculo da posição do AUV. Esses dados são tratados em tempo real (durante a missão), a partir de algoritmos e integrações, ao nível dos equipamentos de bordo. Alguns destes sensores permitem também o armazenamento dos dados para posterior análise.

O IMU é uma unidade de medição inercial, constituído por giroscópios e acelerómetros que calculam a velocidade angular e aceleração linear, respetivamente. O Honeywell HG1700-AG58 IMU é um sistema de navegação inercial de alta precisão, que efetua medições nos três eixos cartesianos. É constituído por três *Gyros Ring-Laser* (RLG's) e três *Resonant Beam Accelerometers* (RBA's). Os RLG's conferem ao veículo uma maior estabilidade na medição da velocidade nos três eixos, pois constituem uma unidade compacta. O conceito de medição dos RLG's baseia-se em espelhos fixos internamente que refletem dois raios de luz, emitidos repetidamente à mesma velocidade e ao mesmo tempo. Se o IMU se mover, um poderá viajar uma distância menor do que o outro e esta diferença

---

<sup>34</sup> *Light-Emitting Diode* - Dispositivo semiconductor que emite luz visível quando carregada com uma corrente elétrica.



de tempo de chegada dos dois raios de luz ao IMU permite calcular a velocidade angular e a aceleração. Como este IMU não mede ângulos de Euler<sup>35</sup>, as medidas têm de ser integradas para se obterem os ângulos. A sensibilidade da medição ao nível dos eixos dos RLG's, permite conhecer a orientação do veículo no espaço inercial a cada momento.

O modelo do AHRS integrado no veículo é o Microstrain 3DM-GX3. Este sensor permite o cálculo da direção do veículo e da atitude (*pitch*, *roll* e *yaw*). O princípio de funcionamento baseia-se na utilização de giroscópios, acelerómetros e magnetómetros nos três eixos para o cálculo dos parâmetros. Este sensor, ao contrário do IMU, retorna campo magnético e ângulos de Euler (magnetómetros) para cálculo da atitude do veículo. É também possível modificar os parâmetros de calibração do sensor a partir do DUNE.

O IMU HG1700-AG58 é bastante preciso no que diz respeito ao cálculo dos parâmetros de navegação. Este IMU permite ao veículo mover-se em *dead reckoning*<sup>36</sup>, i.e., sem necessidade de suporte LBL, com uma precisão de 1° por hora de desvio máximo.

O DVL é um dos sensores utilizados para a navegação e encontra-se conectado diretamente à unidade de processamento para controlo através do DUNE. O modelo utilizado é o NavQuest 600 micro DVL da empresa LinkQuest, que opera na frequência dos 600 kHz<sup>37</sup>. Este equipamento permite a medição da velocidade do veículo relativamente ao fundo, de forma a integrar o algoritmo de navegação. É utilizado também para calcular a altitude do veículo (relativamente ao fundo do mar), permitindo o posicionamento na coluna de água. O DVL que integra o veículo pode ser utilizado em fundos com profundidades até aos 110 metros (aproximadamente) com uma precisão na ordem de 1 mm/s<sup>38</sup>. A integração deste sensor no veículo é opcional.

O *Forward-Looking Sonar* (sonar de varrimento frontal) é um dos sonares que constitui o veículo e encontra-se acoplado à secção frontal do AUV. Este sonar caracteriza-se pelo varrimento rotativo do meio envolvente, procedendo à sobreposição das imagens recolhidas. Devido a este fato, as imagens acústicas geradas por este sonar são de pior qualidade comparativamente a outros sonares (e.g. *Side-scan sonar*). O *Forward-Looking*

<sup>35</sup> Os ângulos de Euler descrevem a orientação de um corpo rígido (posição relativa constante) num espaço tridimensional.

<sup>36</sup> Expressão inglesa para navegação estimada: processo de cálculo de uma posição atual a partir de uma posição conhecida, determinada anteriormente.

<sup>37</sup> *Quilo-hertz* (ordem de grandeza 10<sup>3</sup>).

<sup>38</sup> Milímetro por segundo.



*Sonar* é utilizado para *obstacle avoidance sonar* (sonar para evitar obstáculos). Esta funcionalidade permite ao veículo corrigir o seu movimento tendo em conta obstáculos que surjam no seu caminho, conferindo autonomia de navegação ao veículo.

No que diz respeito às comunicações, o AUV é constituído por dois sensores que contribuem para o posicionamento do veículo, tanto a nível acústico (*underwater*) como à superfície.

Os sensores de navegação do veículo conferem um certo nível de autonomia na navegação, baseando-se nas medições para o cálculo dos parâmetros necessários.

Os *payloads* do AUV garantem a recolha de dados oceanográficos e o mapeamento do fundo. O sensor CTD permite a recolha de dados relativos aos parâmetros físicos da água, nomeadamente, salinidade, temperatura e densidade. Estes permitem caracterizar a coluna de água e calcular parâmetros como a velocidade do som na água (importante nas comunicações acústicas). Este conhecimento permite adequar a missão do veículo, segundo áreas de operação ou profundidades aconselháveis de operação.

O *Side-scan sonar* (sonar de varrimento lateral), disposto lateralmente ao longo do veículo, possui características distintas do *forward-looking sonar*, pois não gera imagens acústicas sobrepostas, o que confere maior discriminação das imagens. O seu princípio de funcionamento baseia-se nas diferentes formas de absorção e reflexão das ondas acústicas nos fundos marítimos, variando consoante a sua composição e forma (eco mais forte ou mais fraco). A imagem acústica obtida por este sonar corresponde a linhas de força do eco no tempo, igualmente espaçadas entre si. Este espaçamento define o movimento do AUV e o tempo entre as linhas consecutivas corresponde ao tempo da amostragem do sonar (Pinto, 2009).

Os dados do *Side-scan sonar* são utilizados para caracterizar o fundo ou para localização de objetos não identificados (e.g. navios afundados, minas, etc.) A informação é apresentada segundo mapas de intensidades (mapas de cores) onde é possível identificar objetos dispersos no fundo.

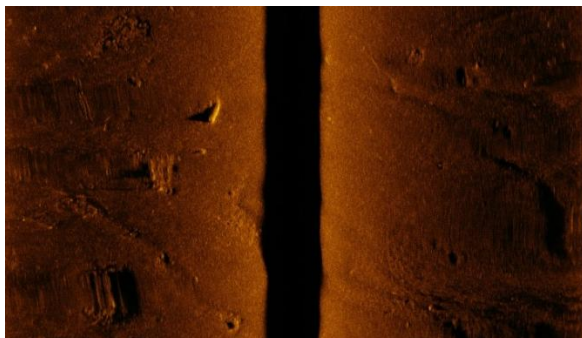


Figura 18 - Imagem tratada do fundo a partir do *side-scan sonar*.

### 3.3. Estação de controlo

A estação de controlo do AUV SeaCon é constituída por um *laptop* onde corre um software denominado Neptus.

O sistema Neptus é um sistema *Command, Control, Communications, Computer and Intelligence* (C4I) que suporta o ciclo de vida típico de missões com os veículos autónomos: preparação, execução, revisão e análise posterior dos dados recolhidos (<http://whale.fe.up.pt/>). Foi criado para suporte a operações com múltiplos veículos heterogéneos, utilizando a mesma interface.

O sistema Neptus utiliza dois tipos de comunicações com os veículos: comunicações *Wi-fi* e comunicações acústicas. Estas são suportadas por uma *gateway* de comunicações (sistema MANTA<sup>39</sup>) instalada no centro de controlo para a missão, que permite a comunicação entre sistemas heterogéneos.

O Neptus utiliza dois protocolos de comunicações: *User Datagram Protocol*<sup>40</sup> (UDP) e *Transmission Control Protocol*<sup>41</sup> (TCP). Para suportar o diálogo entre os diversos componentes é utilizado um protocolo de mensagens embutido, o *Inter-Module Communication* (IMC). Este corporiza a lógica que permite a transferência de comandos e

---

<sup>39</sup> Conceito desenvolvido na secção seguinte.

<sup>40</sup> Protocolo simples que permite a entrega de mensagens independentes, designadas por datagramas, entre aplicações ou processos. Codifica as informações de duas ou mais fontes de dados num único canal, para que várias aplicações possam aceder o sistema de comunicação de forma coerente.

<sup>41</sup> Este protocolo, além das funcionalidades do UDP, possui uma série de funções que tornam a comunicação entre a origem e destino mais confiável. É um dos protocolos em que assenta o núcleo da Internet.



telemetria entre os sistemas interligados de veículos, sensores e operadores, a partir do envio e receção de mensagens (Sousa, Pereira, Marques, Pinto, Martins & Dias, s.d.).

Este sistema é apresentado numa consola de operação que permite ao operador a interação com o veículo. Esta consola é composta por vários painéis configuráveis, alimentados pelos dados publicados pelos veículos em rede. Alguns painéis enviam comandos para o veículo, de forma a controlar o seu comportamento (LSTS, 2011).

Esta consola de operação possibilita a execução de três fases distintas da operação do veículo: planeamento, execução da missão e análise pós-missão.

### ▪ Planeamento

Nesta fase processa-se a elaboração do planeamento da missão. O sistema Neptus permite a visualização virtual do ambiente envolvente com imagens georreferenciadas e modelos 3D, como ilustra a figura 19.

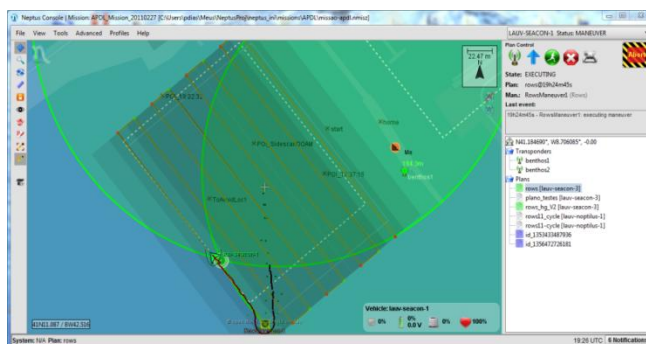


Figura 19 - Representação do ambiente envolvente da missão.

Depois da definição do mapa, o sistema permite o planeamento da missão diretamente neste, com introdução das fiadas e *waypoints* (Figura 20). Para cada veículo é também disponibilizado um menu com as possibilidades de manobras passíveis de serem executadas.



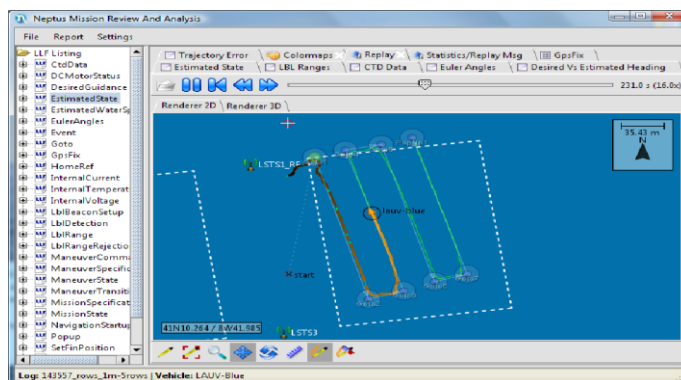


Figura 20 - Representação de uma missão.

Cada veículo tem disponível um ficheiro no Neptus com as suas configurações básicas e capacidades. Este engloba informação como: o tipo de veículo, as manobras possíveis, os protocolos de comunicações associado, entre outros. Esta informação pode ser visualizada, mas também alterada diretamente no sistema.

O planeamento de uma missão consiste na criação de ficheiros de missão, com informação dos mapas, configuração dos veículos, *check-lists* dos procedimentos e os planos das missões. Estes ficheiros são guardados no formato XML no sistema Neptus.

#### ▪ Execução da missão

Depois do planeamento da missão, e antes de execução desta, procede-se à simulação básica para aferir alguns pormenores de posicionamento do veículo e aspetos operacionais.

O Neptus admite três formas de simulação básica: previsão do comportamento, simulação do *software* e simulação *hardware-in-the-loop* (HIL). Para simulação do *software* é utilizado o DUNE em modo de simulação, em que os valores dos sensores são simulados. No HIL é simulado tanto o software como o hardware (fora de água). Estes dois tipos de simulação são utilizados para testar especificidades das missões ou para treinar o operador para uma missão real.

Durante a execução da missão, o veículo é monitorizado na consola de operação do Neptus, permitindo ao operador maximizar a operação do veículo. Esta permite a visualização do movimento do veículo, em tempo real, devido ao sistema de



posicionamento *Long Base Line*<sup>42</sup>. É possível também a execução de comandos durante a missão, nomeadamente seleccionar e enviar planos para o veículo. Estes planos podem ser de alteração de *waypoints* ou fiadas, para iniciar ou abortar a própria missão ou de alteração da profundidade ou altitude do veículo.

A consola de operação possui a capacidade de monitorização e controlo dos veículos durante a missão, bem como do comando e controlo destes, como é apresentado na figura 20. Esta figura apresenta uma possibilidade de configuração da consola, apresentando um *layout* (disposição) configurável.

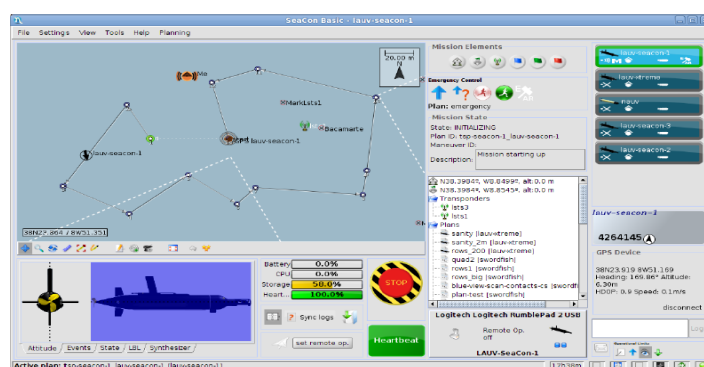


Figura 21 - Consola Neptus.

A consola permite a visualização de diversa informação relacionada com os veículos, nomeadamente: as características e estado operacional do veículo (orientação, velocidade, estado da bateria), tipo de conectividade entre o sistema e o veículo, informação e estado atual da missão, posicionamento do veículo relativamente à plataforma-mãe e, geograficamente, a passagem para controlo remoto (duas opções: *joystick* ou plataforma Android para controlo remoto do veículo), entre outras. Esta possui também um painel para iniciar e abortar a missão do veículo, tornando estas operações mais diretas para o operador.

Existem vários alarmes integrados no sistema Neptus (também em painéis) que permitem alertar o operador para erros no sistema do veículo, ou mesmo relativos à missão. A consola de operação possui um esquema de cores para aos alarmes, associado a cada erro. Um dos alarmes mais importantes é o *Heartbeat* do veículo que funciona como medida de conectividade do sistema ao veículo.

<sup>42</sup> Conceito desenvolvido neste subcapítulo.

A configuração da consola de operação pode ser alterada, adicionando ou removendo painéis individuais da consola. Os ficheiros, posteriormente guardados, podem ser carregados na consola consoante as necessidades do operador. Adicionalmente cada configuração pode ter vários perfis ou disposições dos componentes. Estes perfis podem ser ativados pelo utilizador para que a disposição dos componentes na consola se adeque a um perfil de missão ou estado do veículo.

### ▪ Análise pós-missão

Após terminar a missão, o passo importante a realizar é a recolha de *logs* (eventos) do veículo para posterior análise. Os *logs* são carregados diretamente para o sistema Neptus, que procede à execução de relatórios rápidos de missão com apoio da ferramenta *Mission Review & Analysis* (MRA). Esta aplicação permite a compilação dos dados para posterior visualização em gráficos (e.g. mapas de cores, dados *side-scan sonar*) ou tabelas, como ilustram as figuras 22 e 23:

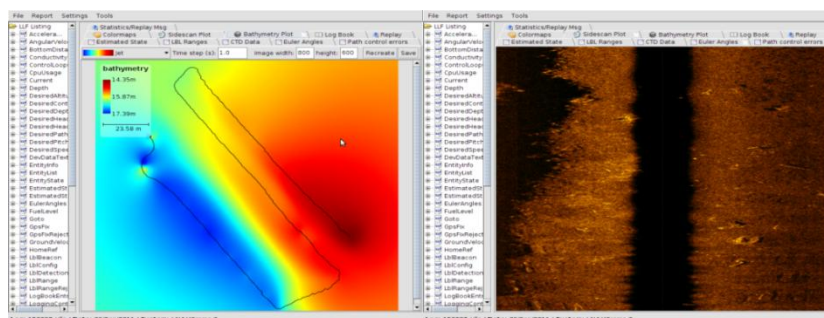


Figura 22 - Mapa da batimetria / Mapa *Side-scan sonar*.

Time	Latitude	Longitude	Depth
0.000	40.150	8.739	-20.250000
0.001	40.151	8.739	-20.250000
0.002	40.152	8.739	-20.250000
0.003	40.153	8.739	-20.250000
0.004	40.154	8.739	-20.250000
0.005	40.155	8.739	-20.250000
0.006	40.156	8.739	-20.250000
0.007	40.157	8.739	-20.250000
0.008	40.158	8.739	-20.250000
0.009	40.159	8.739	-20.250000
0.010	40.160	8.739	-20.250000
0.011	40.161	8.739	-20.250000
0.012	40.162	8.739	-20.250000
0.013	40.163	8.739	-20.250000
0.014	40.164	8.739	-20.250000
0.015	40.165	8.739	-20.250000
0.016	40.166	8.739	-20.250000
0.017	40.167	8.739	-20.250000
0.018	40.168	8.739	-20.250000
0.019	40.169	8.739	-20.250000
0.020	40.170	8.739	-20.250000

Figura 23 - Tabela de dados da missão.

O sistema possui outras facilidades, nomeadamente, o cálculo das estatísticas decorrentes da missão, estimativas da distância entre a posição estimada e a desejada do veículo durante a missão, atitude do veículo durante toda a missão e a visualização da repetição do plano executado pelo veículo, em comparação com o plano enviado inicialmente para este.

O Neptus é um sistema complexo, mas que se apresenta de forma simplificada e de fácil utilização por parte do operador. A plataforma que suporta a consola de operação é um computador portátil, permitindo o transporte e adaptação a qualquer ambiente.

### 3.4. *Gateway*

Segundo o manual de utilizador do SeaCon, o sistema Manta *Gateway* tem como principal objetivo interligar redes heterogéneas (acústicas e rádio), funcionando como sistema intermédio entre diferentes arquiteturas, como é o caso do AUV e o Neptus.

Este sistema é constituído pela *gateway* (a antena é colocada durante a utilização) e por um cabo transdutor, que é colocado dentro de água durante a operação, para as comunicações acústicas. A figura 24 ilustra o sistema Manta, que apresenta as seguintes dimensões: 0,43 metros de comprimento, 0,25 metros de largura e 0,34 metros de altura e pesa cerca de 9 kilogramas.



Figura 24 - Manta *Gateway* e cabo transdutor.

A Manta *gateway* assegura a comunicação entre o sistema Neptus e o veículo na água, independentemente dos diferentes protocolos de comunicações e arquiteturas de rede usados. Isto deve-se ao fato de a Manta possuir a capacidade de transmissão e receção, tanto de comunicações via *Wi-fi*, como acústicas.



No que diz respeito às comunicações *wireless*, a Manta está equipada com dois sistemas *Wi-fi* (frequências de 2,4 GHz<sup>43</sup> e 5 GHz), permitindo um maior alcance (até 4,5 quilómetros). Para comunicações acústicas possui um *modem* acústico de pequenas dimensões que permite as comunicações a curta distância.

O veículo, ao ser colocado na água para uma missão, encontra-se em constante comunicação com o sistema Neptus a partir da Manta *Gateway*. Enquanto o veículo se encontra à superfície a comunicação é por *Wi-fi*, sendo a Manta a reencaminhar os comandos do Neptus para o veículo. Quando este imerge as comunicações com o veículo passam a ser acústicas, sendo utilizado para isso o transdutor da Manta. Este transdutor permite também enviar *pings* acústicos para o veículo para medição de distâncias, envio de comandos durante a missão ou iniciar e abortar um plano.

A Manta Gateway assume um papel importante na avaliação do posicionamento do veículo, a partir da medição de distâncias entre os *beacons* acústicos colocados na água e o próprio veículo (posicionamento por triangulação).

Esta ponte de ligação entre o operador (sistema Neptus) e o veículo é vital, pois a Manta permite o envio de comandos para o veículo imerso, bem como utilizar sistemas com arquiteturas distintas. As características da Manta *Gateway* permitem que esta seja portátil e colocada facilmente a bordo de uma plataforma de apoio a uma missão.

### 3.5. Sistema de Posicionamento *Long Base Line*

O LBL é um sistema de posicionamento utilizado em veículos submarinos autónomos, que se baseia na utilização de dois ou mais faróis com transdutores acústicos dispostos na área de operação. Estes faróis permitem ao veículo calcular a sua posição através do envio de sinais acústicos para cada farol. Cada farol responde ao sinal que lhe é enviado, sendo estes sinais recebidos pelo veículo. O tempo de viagem do sinal juntamente com a informação da velocidade do som na água no local (considerando a salinidade, temperatura e pressão da água) permite o cálculo da distância entre o veículo e os faróis. Com base nestas distâncias e também na informação da profundidade (dada pelos sensores de bordo) o veículo calcula a sua posição.

---

<sup>43</sup> *Giga-hertz* (ordem de grandeza 10<sup>9</sup>).

O sistema de navegação LBL utilizado no AUV SeaCon consiste na colocação de dois *beacons* na área de operação, juntamente com o transdutor da Manta colocado na plataforma-mãe. As medidas de posicionamento são transmitidas pelo veículo para a Manta e, por sua vez, para o Neptus que estima a posição do veículo independentemente da posição calculada pelo veículo.

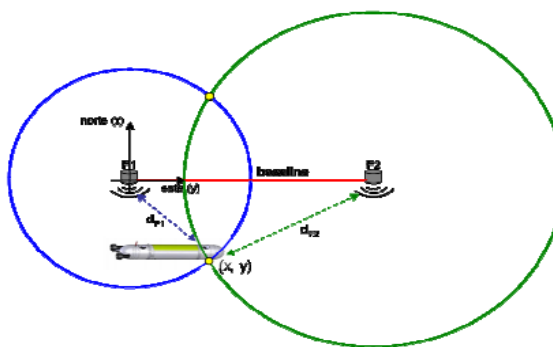


Figura 25 - Posicionamento LBL com dois faróis.

A *baseline* (linha imaginária que une os dois faróis) deve adotar a maior distância possível, de modo a conter toda a área de operação do veículo. Os faróis devem ser colocados na coluna de água de forma à sua profundidade ser superior à profundidade máxima de operação do veículo, tendo também em consideração a proximidade ao fundo. O posicionamento dos faróis é controlado por GPS para que a posição destes seja introduzida na consola de operação do Neptus, bem como a profundidade a que se encontram. Estes dados serão enviados para o veículo e servem também para a monitorização da posição do veículo durante a missão no Neptus.

No posicionamento LBL o veículo envia um sinal acústico (a cada dois segundos) na frequência de 26 kHz a cada farol. Estes recebem o sinal acústico e enviam outro sinal na sua própria frequência (como o sinal é enviado ao mesmo tempo, são utilizados canais diferentes). A partir dos sinais transmitidos pelos faróis, o veículo calcula a distância a cada um. O cruzamento das distâncias permite obter dois pontos (sobreposição de duas circunferências), em que um, não sendo uma solução aceitável, é desprezado. A outra posição é considerada a localização mais provável do veículo.

Este sistema é utilizado mesmo quando o veículo se encontra à superfície (*fix* GPS), sendo as suas medições consideradas pouco relevantes.



### 3.6. Empenhamento operacional

Os AUV's SeaCon foram desenvolvidos e construídos no LSTS na FEUP, mas contam com a componente operacional da Marinha. É o Destacamento de mergulhadores sapadores nº 3 (DMS3) que se ocupa do empenhamento operacional dos veículos, juntamente com a equipa da FEUP.

Apesar de terem sido entregues três veículos à Marinha em 2009, estes foram sofrendo *updates* ao longo dos anos de forma a integrarem novos sensores e capacidades. Os veículos que se encontram em fase de atualização e serão entregues à Marinha ainda este ano são o SeaCon-1, o SeaCon-2 e o SeaCon-3. Os dois primeiros irão apresentar uma configuração mais básica, enquanto o SeaCon-3 será vocacionado para a questão do *docking* em estações submarinas (melhor equipado).

Desde o início do projeto que os veículos integram missões de caráter científico e militar, no âmbito das missões da Marinha, nomeadamente missões de MCM, de REA e mapeamento dos fundos para utilização por parte de outras plataformas ou para arqueologia subaquática.





## CAPITULO IV - SUBMARINOS DA CLASSE TRIDENTE

---

### 4.1. Introdução

O mar e o controlo do seu uso continuam a assumir hoje, tal como no passado, uma grande importância estratégica, contribuindo para o nível de desenvolvimento de um país.

Os submarinos são uma das plataformas mais eficazes de uma Força Naval, tendo em conta a sua descrição, mobilidade, autonomia, flexibilidade de resposta e prontidão (Pedra, 2010).

A sua capacidade de condução de operações sem ser detetado (elemento não perturbador do ambiente operacional) confere-lhe uma grande vantagem estratégica relativamente a outras forças navais. Este possibilita o empenhamento de meios nas várias fases de um conflito, considerando desde a recolha de informações da área de operações, até à inserção e recuperação de forças especiais ou o emprego de armas, tanto em terra como no mar.

O submarino é considerado um meio dissuasor por excelência, possuindo a capacidade de introduzir o fator surpresa no teatro de operações, de forma a comprometer as forças oponentes. Constitui também um importante vetor de defesa avançada, podendo operar ou mesmo exercer a sua influência longe do seu território ou de uma base de apoio. As ações de negação do uso do mar e a vigilância discreta das áreas costeiras constituem empenhamentos importantes do submarino, contribuindo eficazmente para a defesa do território nacional.

#### 4.1.1. A 5ª Esquadilha

Com o surgimento da necessidade de manutenção da capacidade submarina do sistema de forças nacional, Portugal adquiriu dois novos submarinos que constituem a 5ª Esquadilha.

Os submarinos da Classe *Tridente*, NRP *Tridente* e NRP *Arpão*, são a mais recente capacidade submarina do nosso país. Constata-se um salto tecnológico ao nível da autonomia, sensores, armas e meios de salvamento em caso de sinistro, em comparação com os submarinos anteriores da Marinha.



Estes submarinos encontram-se preparados para desempenhar funções num contexto mais alargado das operações marítimas, devido à sua capacidade de navegação oceânica. A sua tecnologia de ponta permite o empenhamento em diversos tipos de missões, como: patrulhamento e reconhecimento de áreas costeiras e oceânicas, inserção de operações especiais, neutralização de alvos de superfície e submarinos, lançamento de campos de minas, deteção de minas e emprego de mísseis sobre terra.

## 4.2. Características

Os submarinos da classe *Tridente* são submarinos convencionais do tipo U-209PN, que se baseiam no modelo alemão U-214. Foram projetados e construídos pelo estaleiro alemão HDW *Howaldtsweke Deutsche Werft GmbH*.



Figura 26 - Submarinos da Classe *Tridente*.

Estes submarinos são considerados dos melhores submarinos convencionais do mundo, devido às suas características, que serão explanadas nas secções seguintes.

### 4.2.1. Características técnicas

As características técnicas do submarino são as seguintes:

- Comprimento fora-a-fora: 67,88 metros;
- Comprimentos casco resistente: 52,50 metros;
- Diâmetro do casco resistente: 6,35 metros;
- Boca máxima (leme horizontal AR): 7,65 metros;
- Boca (leme horizontal AV): 6,92 metros;
- Calado médio à superfície: 6,6 metros;
- Deslocamento à superfície: 1842 tons;



- Deslocamento em imersão: 2020 tons;
- Reserva flutuabilidade: 10%;
- Velocidade máxima superfície/submerso/com AIP<sup>44</sup>: 10/20/6 nós<sup>45</sup>.

Os submarinos da classe *Tridente* possuem uma cota<sup>46</sup> máxima de operação superior a 350 metros de profundidade (TM 0761.01).

Quanto à autonomia destes submarinos, está diretamente relacionada com a velocidade praticada. Quanto maior a velocidade, maior a descarga da bateria e, consequentemente, maior o consumo de combustível. Com a redução do intervalo entre cargas, maior será a taxa de indiscrição do submarino.

Apesar de a sua construção ser mais vocacionada para a navegação oceânica (e.g. elevada autonomia), estes submarinos apresentam características passíveis de utilização junto a costa, em águas pouco profundas (*shallow waters*). O submarino possui a capacidade de desmagnetização automática que, em primeira instância, possibilita a postura discreta em ambientes de operação de *Maritime Patrol Aircraft* (MPA's) [estas aeronaves são equipadas com sistema MAD (Magnetic Anomaly Detector), que permite a localização de submarinos em imersão com base nas anomalias magnéticas produzidas pelo submarino] e reduz a possibilidade de acionamento de minas por efeito magnético.

Os submarinos da Classe *Tridente* estão estruturalmente desenhados para serem muito hidrodinâmicos.

O casco do submarino apresenta duas estruturas diferentes: uma exterior denominada GRP (*Glass Fibre Reinforced Plastic*) e uma interior, o casco resistente. Entre o casco exterior e o casco resistente localizam-se os tanques de combustível, os tanques de lastro e também o sistema de tubos lançadores de armas (que penetram o casco resistente do submarino).

---

<sup>44</sup> *Air Independent Propulsion*.

<sup>45</sup> O AIP é otimizado para velocidades compreendidas entre 4 e 6 nós.

<sup>46</sup> Profundidade da quilha do submarino, i.e. distância que vai desde a superfície da água até ao limite do casco inferior do submarino.

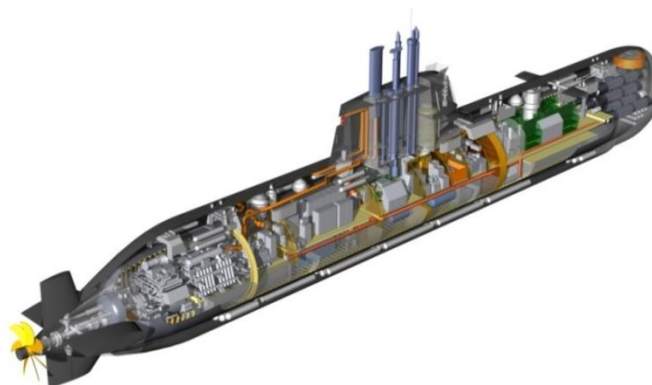


Figura 27 - Submarino modelo U-214 (Folheto dos submarinos)

O casco resistente é uma estrutura completamente estanque, que permite ao submarino resistir à pressão hidrostática e a explosões que possam ocorrer, garantido a sua habitabilidade. Esta estrutura encontra-se dividida em dois compartimentos por uma antepara estanque e resistente: a vante ( $331 \text{ m}^2$ ) e a ré ( $745 \text{ m}^2$ ). Esta divisão permite ao submarino isolar por completo uma das zonas em caso de sinistro da zona adjacente, mantendo alguns sistemas vitais em funcionamento e contribuindo para a sobrevivência da guarnição. Este casco também se encontra dividido em oito subdivisões, consoante as estruturas que integram.

O casco exterior envolve a parte superior do casco resistente e possibilita a integração de alguns dos sensores exteriores do submarino, nomeadamente os *arrays* (antenas acopladas ao casco). Estas antenas encontram-se dispostas ao longo do casco e são parte integrante do sistema SONAR<sup>47</sup> do submarino.

Inserido no casco exterior, na torre do submarino (estrutura mais elevada do submarino), encontram-se os mastros (mastros penetrantes e mastros não penetrantes) e as antenas. Os mastros penetrantes são aqueles que se prolongam para o interior do casco resistente que, no caso dos submarinos da Classe *Tridente*, são o periscópio SERO 400-

---

<sup>47</sup> *Sound Navigation and Ranging* - o sistema SONAR do submarino é constituído pelos *arrays* (conjunto de hidrofones), que recebem a informação do exterior, e pelo processamento da informação pelos sistemas do submarino.

30<sup>48</sup> e o mastro *snorkell* (utilizado para a entrada de ar fresco do exterior para o interior do submarino). Quanto aos mastros não penetrantes, existem cinco: o mastro optrónico OMS 100-30<sup>49</sup>, o mastro ESM (*Electronic Support Measurement*) que tem acoplada a antena *Communication Intelligence* (COMINT) (antena passiva – deteção eletromagnética), o mastro RADAR (*Radio Detection And Ranging*) e dois mastros de comunicações, em que todos são içados hidraulicamente.

Os mastros de comunicações integram várias antenas, nomeadamente uma antena de “vara” *High Frequency* (HF<sup>50</sup>) e antenas combinadas *Very High Frequency* (VHF), *Ultra High Frequency* (UHF), INMARSAT-C<sup>51</sup>, IFF (*Identification Friend-Foe*), AIS (*Automatic Identification System*)<sup>52</sup>, GPS e HF-SATCOM (*Satellite Communications*) (TM 0761.01).

O submarino possui mais duas antenas de comunicações, uma antena de “quadro” incorporada na torre do submarino (na banda *Very Low Frequency* / *Low Frequency* VLF/LF<sup>53</sup>) e com possibilidade de receção de comunicações até aos 50 metros de profundidade (as transmissões em baixa frequência têm uma maior capacidade de penetração no meio aquático) e uma antena rebocada flutuante conectada à torre do submarino por um cabo (receção nas bandas VLF, HF e VHF<sup>54</sup>).

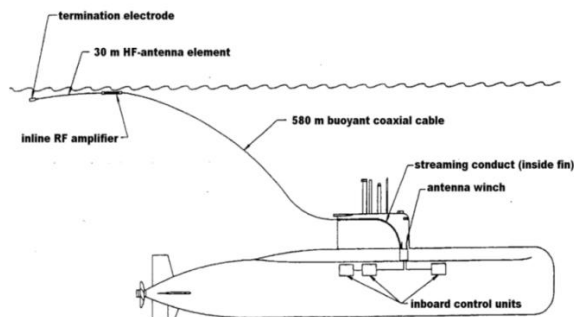


Figura 28 - Antena rebocada flutuante (TM 0761.01)

<sup>48</sup> Este periscópio permite a deteção, identificação e seguimento de contatos de superfície ou aéreos de forma a adquirir informação tática e de segurança.

<sup>49</sup> Este mastro tem a capacidade de visão para o exterior, direta ou indireta, com recurso a uma HDTV (*High Definition TV Camera*) e uma câmara IR - *InfraRed* (infravermelhos) com imagem térmica.

<sup>50</sup> Frequências de receção na ordem dos 100 kHz até aos 30 MHz e transmissão dos 1.5 MHz até aos 30 MHz.

<sup>51</sup> Sistema de comunicações por satélite para segurança marítima. (sistema de mensagens)

<sup>52</sup> Sistema de identificação e localização de embarcações por intermédio de troca eletrónica de dados.

<sup>53</sup> Frequências de receção na ordem dos 10 kHz até aos 160 kHz.

<sup>54</sup> Frequências de receção na ordem dos 10 kHz até aos 160 kHz e dos 2 MHz até aos 30 MHz.



Adjacente ao compartimento dos mastos e antenas da torre do submarino existe um compartimento estanque, a eclusa. Este compartimento encontra-se no tronco da torre e é constituído por três portas (escotilhas) que permitem a passagem do interior (corredor principal) para o exterior do submarino (duas portas). Uma destas portas é lateral e permite o desembarque/embarque de mergulhadores/forças especiais com o submarino em imersão (sistema de alagamento) (TM 0761.01).

Ainda no âmbito dos sistemas de comunicações, o submarino possui dois telefones submarinos (UT3000 e UT2200)<sup>55</sup> e um sonar *beacon* para emergência.

O modo de operação dos telefones submarinos baseia-se na transmissão e receção de sinais de amplitude modulada via transdutores acústicos, através da água (MESUB 5140). Estes possibilitam o envio de mensagens curtas (SMS<sup>56</sup>), a medição de distâncias (30 kHz e modo NATO), medição do ruído ambiente (banda de frequências de 1 kHz até 60 kHz) e atuação como *pinger* na frequência dos 800Hz (apenas no modo de transmissão).

O sonar *beacon* é um equipamento utilizado para localização do submarino, normalmente em caso de emergência. Este sistema, quando ativado, permite a transmissão de sinais acústicos (*pings*) através dos transdutores acoplados ao casco do submarino.

#### 4.2.2. Propulsão

O sistema de propulsão dos submarinos da Classe *Tridente* é um sistema elétrico, constituído por um motor elétrico principal (MEP) e por dois sistemas de produção de energia elétrica: sistema a *diesel* e sistema de AIP (*Air Independent Propulsion*) do tipo *fuel cell* (células de combustível).

A instalação *diesel* é constituída por dois grupos eletrogéneos (um motor *diesel* acoplado a um gerador, cada um). Este sistema necessita da entrada de ar fresco do exterior, para a operação dos motores *diesel* em imersão. Isto é possível a partir do mastro *snorkel*, que alimenta o interior do submarino de ar fresco do exterior (quando o submarino se encontra à cota periscópica ou à superfície). Esta entrada de ar permite também a renovação do ar ambiente do submarino.

---

<sup>55</sup> Underwater telephone.

<sup>56</sup> SMS - Short Message Service.



Os geradores providenciam o carregamento dos dois grupos de baterias do submarino que alimentam o motor propulsor. O motor elétrico de propulsão *Permasyn* transforma a energia elétrica em energia mecânica de propulsão do submarino.

O submarino possui um sistema de *fuel cell* constituído por dois módulos AIP, que permitem a produção de energia elétrica através de um processo eletroquímico resultante da junção de oxigénio e hidrogénio. Este sistema é independente do ar exterior (*Air Independent Propulsion*), permitindo ao submarino recarregar as baterias em imersão. O sistema AIP é bastante discreto (pouco ruído e reduzida produção de calor), o que confere vantagem tática ao submarino.

Este sistema permite aumentar substancialmente a autonomia do navio, aumentando a duração do período em que o navio se mantém em imersão profunda sem ter necessidade de cometer indiscrições à cota periscópica por utilização dos grupos eletrogéneos.

#### 4.2.3. Táticas

(Em ANEXO devido à classificação de segurança militar)

### 4.3. Conceito de Navegação

#### 4.3.1. Conceitos Gerais

A navegação é o ato de conduzir um navio ou embarcação de um local para outro à superfície da Terra (INA2). Esta condução deve ser efetuada com o maior rigor possível de posicionamento, de acordo com o tipo de navegação que está a ser praticado.

Segundo as Instruções de Navegação da Armada Volume 2 (INA 2), existem três tipos de navegação definidos, consoante a distância a que se navega da costa ou do perigo mais próximo: navegação oceânica, navegação costeira e navegação em águas restritas. As diferenças entre estes tipos de navegação estão relacionadas com a exatidão do posicionamento do navio e a rapidez e frequência com que a posição é determinada.

A navegação oceânica é a única que não impõe limitações à navegação do navio, sendo praticada a grande distância de costa ou do perigo mais próximo (50 milhas náuticas<sup>57</sup>). O requisito operacional de exatidão do posicionamento em geral é de cerca de 2 milhas.

---

<sup>57</sup> 1 milha náutica (mn) = 1852 metros.



A navegação costeira é praticada em aproximação ou ao longo de costa (entre 3 a 50 milhas), nas proximidades de um perigo para a navegação que limite os movimentos do navio. A exatidão de posicionamento adotada neste tipo de navegação é de 0,2 milhas, aproximadamente.

A navegação em águas restritas é praticada nos portos, rios, canais e nas suas proximidades. Também é utilizada quando a navegação ou a manobra do navio são limitadas, devido à profundidade, maré, corrente ou pela densidade do tráfego marítimo. Este tipo de navegação exige o conhecimento contínuo da posição do navio, sendo a exatidão do posicionamento de 0,05 milhas (50 jardas).

Para determinar ou controlar a posição do navio são utilizados vários métodos de navegação, que podem ser classificados em métodos autónomos ou métodos não-autónomos. Esta classificação tem como base a dependência ou não dos sistemas de posicionamento relativamente a fontes externas ao navio, como as ajudas à navegação (visuais, sonoras ou radio). Um exemplo de um sistema não autónomo de navegação é a radionavegação<sup>58</sup>, e.g. por satélite (GPS), baseada em terra (LORAN C) ou recorrendo a transmissões (radiogoniómetros). Este método de navegação é utilizado nos três tipos de navegação referidos anteriormente.

Os métodos autónomos de navegação são todos aqueles que não dependem de sistemas externos ao navio, assim, a determinação ou controlo do posicionamento apenas depende dos sistemas do próprio navio. A navegação estimada, a navegação astronómica<sup>59</sup> e a geonavegação<sup>60</sup> (visual e radar) são exemplos de métodos autónomos. Enquanto a navegação astronómica apenas é utilizada na navegação oceânica e a geonavegação é utilizada principalmente na navegação em águas restritas, a navegação estimada pode ser utilizada nos três tipos de navegação (figura 29).

---

<sup>58</sup> Método de navegação baseado na utilização dos sistemas de radioposicionamento, em que os dados e informação necessários para a determinação ou controlo da posição do navio são transmitidos via rádio (INA 2).

<sup>59</sup> Método de navegação em que a determinação de linhas de posição é realizada através da observação de astros (INA 2).

<sup>60</sup> Método de navegação em que a determinação ou o controlo do posicionamento são realizados através de linhas de posição obtidas por observação, visual ou radar, de conhecenças em terra (INA 2).



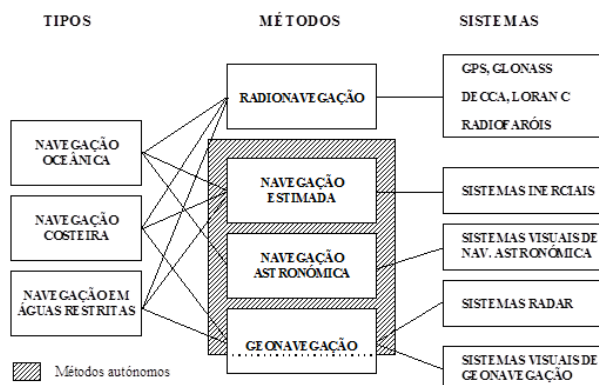


Figura 29 - Tipos, métodos e sistemas de navegação (INA 2)

Para a condução da navegação dos navios de superfície ou submarinos, deve-se considerar a atitude da plataforma, que é influenciada por fatores externos.

Como demonstrado na figura 30 e 31, tanto os navios de superfície como os submarinos movimentam-se segundo o sistema de coordenadas RPY: *roll* (balanço), *pitch* (cabeceio) e *yaw* (guinada).

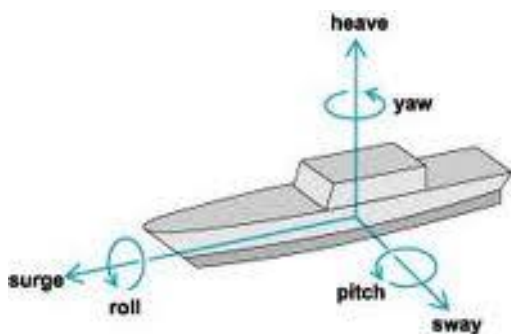


Figura 31 - Sistema de eixos de rotação de um navio de superfície.

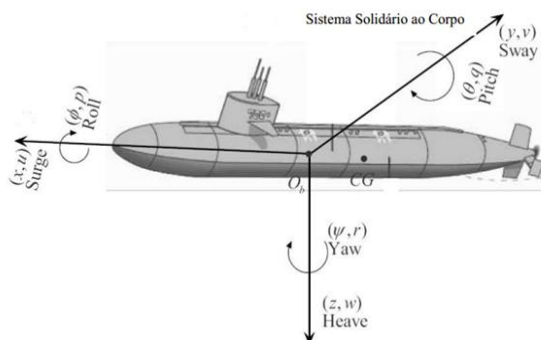


Figura 30 - Sistema de eixos do submarino.

Apesar das semelhanças relativas à atitude de ambas as plataformas, o submarino apresenta certas particularidades por ser uma plataforma tridimensional. A grande diferença é verificada no *heave* (movimento ao longo do eixo vertical), que assume um papel mais relevante no submarino do que nos navios de superfície. Isto deve-se ao facto





de o submarino alterar a sua cota de navegação e, conseqüentemente, influenciar o seu movimento.

Na secção seguinte será abordada a problemática da navegação submarina, considerando as suas limitações e particularidades.

#### **4.3.2. Navegação Submarina**

A navegação submarina é um conceito bastante complexo, pois, como referido no subcapítulo anterior, considera mais parâmetros que os navios de superfície.

O submarino navega tanto à superfície como em imersão, admitindo três modos: à superfície, à cota periscópica e em imersão profunda.

Quando o submarino navega à superfície, comporta-se como um navio de superfície, pois os métodos navegação utilizados são os mesmos. O sistema de posicionamento adotado depende da distância a terra ou ao perigo mais próximo (INA 2). A utilização do GPS é mais fácil e generalizada, mas são utilizados tanto os métodos autónomos como não autónomos.

À cota periscópica o submarino apenas mantém os mastros e antenas à superfície, que taticamente forem considerados necessários. Este modo assegura uma maior descrição do submarino (vantagem tática), mantendo o panorama de superfície esclarecido e comunicação com o exterior.

O submarino, em qualquer modo de operação, sofre influência das condições ambientais e oceanográficas (meteo-oceanográficas). Tanto à superfície, como à cota periscópica, o vento e as correntes de superfície<sup>61</sup> são os fatores que mais influenciam. Em imersão, os fatores predominantes são as correntes submarinas<sup>62</sup> e as diferenças de densidade (vertical e horizontalmente).

Apesar destas condicionantes, é à superfície ou à cota periscópica que o submarino possui o panorama mais esclarecido (de superfície, aéreo e submarino) e a determinação ou controlo da posição é mais rigorosa. Contudo em imersão profunda, os submarinos

---

<sup>61</sup> Correntes originadas pela ação do vento.

<sup>62</sup> Correntes originadas pela diferença de temperatura e de salinidade da água do mar (quanto mais fria é a água do mar, mais densa se torna e, à medida que essa água ocupa as camadas inferiores do oceano, a água mais quente aflora e produz as correntes submarinas).



possuem o máximo da sua efetividade, nomeadamente no que diz respeito à maximização da sua capacidade acústica. A vantagem operacional relativamente aos navios de superfície baseia-se na sua capacidade de ocultação durante longos períodos de tempo e a capacidade de deteção antecipada, por via dos sonares.

O submarino em imersão profunda está condicionado no que diz respeito à navegação e à determinação e controlo da sua posição. A perda do espectro eletromagnético (perda de posição GPS) e de sistemas como o RADAR ou o AIS (segurança da navegação) tornam a condução da navegação uma tarefa mais difícil e complexa.

Neste modo, as condições meteorológicas e correntes de superfície têm a sua influência diminuída, passando as correntes oceânicas e o perfil da coluna de água (temperatura, salinidade, pressão e densidade) a assumir um papel de maior relevância na navegação do submarino. O referencial considerado é também considerado de forma diferente, pois o submarino movimenta-se igualmente nos três eixos (perfil 3D), sendo a alteração de cota a grande diferença para os navios de superfície. Para controlo desse parâmetro, o submarino integra sistemas de regulação (em peso e caimento<sup>63</sup>) que lhe conferem bastante estabilidade numa determinada cota ou a alteração desta com rapidez e precisão.

A condução da navegação neste modo é assegurada pelos sistemas de bordo, sendo apenas utilizados métodos autónomos na determinação e controlo da posição do submarino. O método utilizado é a navegação estimada, recorrendo aos sistemas inerciais, que constituem a base da navegação do submarino em imersão profunda.

#### **4.4. Operação dos submarinos da Classe *Tridente***

Os submarinos da Classe *Tridente* integram vários sistemas que se interligam. Três destes sistemas são: o sistema de combate *Integrated Sensor Underwater System* (ISUS-90), o sistema de navegação *Navigation Data Management Center* (NDMC) e o sistema de controlo da plataforma (e.g. propulsão, lemes e válvulas) *Electronic Machinery Control System* (EMCS). Estes sistemas possuem *interfaces* entre si e recebem informação de vários sensores e equipamentos integrados do submarino (TM 0761.01).

---

<sup>63</sup> Inclinação longitudinal de um navio para uma das suas extremidades (proa ou popa).



Nesse subcapítulo serão abordados os sensores e sistemas destinados à componente da navegação do submarino, nomeadamente o NDMC e o módulo de navegação (NAV *Module*) que o integra.

#### **4.4.1. *Navigation Data Management Center***

O NDMC é um sistema que tem como objetivo a gestão de toda a informação de navegação, através da comunicação entre os vários sensores e equipamentos, permitindo o fluxo de informação de navegação com os devidos interfaces. Este sistema permite que equipamentos diferentes possam trocar informação entre si. (TM 0761.01).

Devido à grande diversidade de sistemas e sensores a bordo do submarino, existe a necessidade de compilação da informação apenas num equipamento, de forma a facilitar a aquisição e visualização dos dados. Assim sendo, o NDMC integra vários componentes, nomeadamente:

- NDMC “*Cabine*<sup>64</sup>” 1 e 2;
- *Control and Display Module* (CDM) (× 5);
- *Control and Display Panel* (CDP) (× 4);
- *Antenna Distribution box*<sup>65</sup>.

Os dois bastidores do NDMC recebem e distribuem a informação tática e de navegação. Os sinais detetados pelos sensores são ordenados e agrupados de forma a criar pacotes de informação que são recebidos e tratados pelos equipamentos de navegação e gestão de informação. A informação proveniente desses equipamentos obedece a uma lista de prioridades, categorizando-a em função da fiabilidade e precisão dos sensores utilizados (caso da utilização do GPS à superfície ou à cota periscópica). Alguns dos dados que transitam entre o NDMC e outros equipamentos podem ser bidirecionais (transferência de dados) ou direcionais (linhas de comando).

Existe um sistema de redundância de equipamentos e informação entre os dois bastidores com níveis diferentes de integração. Desde a redundância completa nos dois bastidores, com equipamentos idênticos, à redundância de informação via equipamentos

---

<sup>64</sup> *Cabinet* – Bastidor.

<sup>65</sup> A *Antenna Distribution box* encontra-se no CIC e permite a distribuição das informações das quatro antenas GPS para os dois recetores.

semelhantes. Os bastidores estão ligados para que, via redundância automática, as funções de um sejam assumidas pelo outro em caso de falha ou avaria.

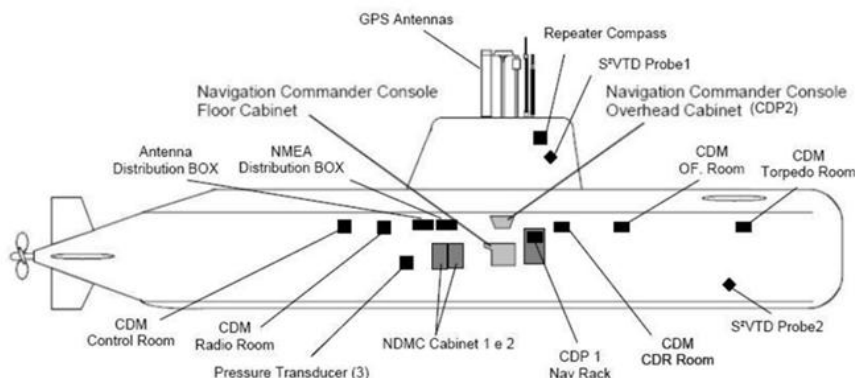


Figura 32 - Alguns dos sensores do submarino (TM 0761.01)

As funções de visualização da informação do NDMC são asseguradas pelos CDM's distribuídos pelo submarino, enquanto as de operação (e também visualização) são asseguradas pelos quatro CDP's.

Os CDP's possuem a capacidade de controlo e operação das unidades funcionais integradas no NDMC e também o controlo dos mastros. Estes equipamentos localizam-se no Centro de Informações de Combate (CIC) do submarino, permitindo ao operador ter um acesso rápido a todas as informações de navegação.

Os CDM's localizam-se em zonas vitais do submarino, para consulta de informação, nomeadamente: dados de navegação e atitude do submarino, dados do periscópio e do GPS, prioridades estabelecidas e informação meteo-oceanográfica. Os displays do CDM's permitem ter o controlo positivo dos diversos sensores que dele fazem parte, atualizando a informação a cada instante.

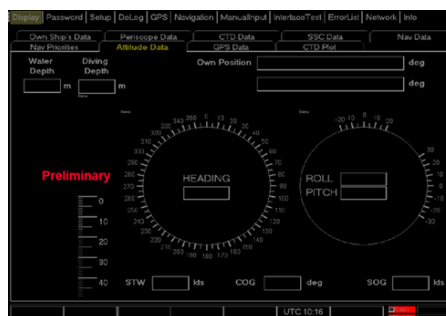


Figura 33 - Exemplo do Display do CDM.

O NDMC integra vários módulos que permitem a interligação entre os diversos sistemas e sensores que lhe fornecem a informação (TM 0761.01):

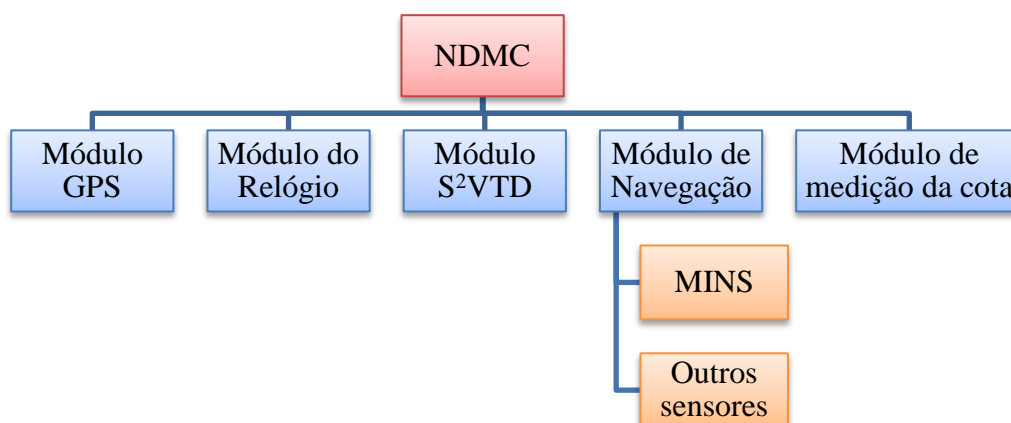


Diagrama 6 - Constituição do NDMC.

Estes módulos permitem ao NDMC executar diversas funções, que não se restringem apenas ao cálculo da posição do submarino, mas ao processamento de interfaces e distribuição de dados, operação, controlo e monitorização dos sensores e subsistemas (CDP's e CDM's), avaliação de dados oceanográficos/cota do submarino, integração de um relógio comum (*Master Clock*) e simulação de dados dos sensores para testes. Uma das características do NDMC é a redundância dos sistemas, permitindo ao submarino um maior controlo de qualidade dos dados obtidos, através da comparação direta entre equipamentos.



Para além das funções do NDMC, principalmente no que diz respeito à navegação, este alimenta os outros sistemas do submarino (e.g. ISUS 90-50, EMCS, sistemas de armas).

O módulo GPS é constituído por dois canais recetores de GPS e utiliza o sistema de posicionamento e atualização da informação horária por satélite. Cada bastidor do NDMC integra um sinal GPS que reúne a informação proveniente das quatro antenas recetoras de sinal GPS existentes no submarino (cada recetor processa o sinal de uma das antenas GPS, e a prioridade é definida pela CDP). Cada recetor integra um recetor *Differential Global Positioning System* (DGPS) e um *Precise Positioning Service* (PPS) (GPS militar), que operam de modo automático e estão ligados a uma base de dados integrada.

Baseado na informação proveniente do módulo GPS existe o módulo do relógio, que é um sistema de alta fiabilidade constituído por um relógio de precisão em tempo real. Quando existe sinal GPS disponível, o relógio é atualizado, caso contrário é o processador interno do relógio que fornece a informação horária. Este módulo gera sinais de tempo que são utilizados por todos os outros sistemas, de forma a manterem a sincronização horária. Esta informação é transmitida a partir do *Data Distributor*<sup>66</sup>, e integra a gestão da informação dos bastidores do NDMC.

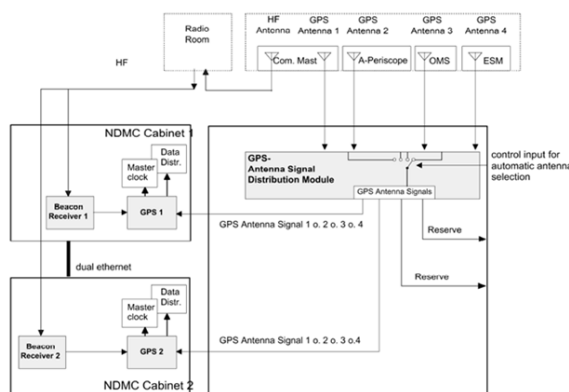


Figura 34 - Diagrama do GPS Module e Clock Module.

<sup>66</sup> O *Data Distributor* (distribuidor de dados) centraliza toda a informação que circula entre os sistemas e sensores (processa e arquiva, temporariamente). Depois é distribuída segundo as exigências dos sistemas e subsistemas conectados. Este equipamento possui também a capacidade de efetuar diagnósticos e detetar erros e falhas do sistema.



O S<sup>2</sup>VTD (*Salinity & Sound Velocity, Temperature & Density*) é um equipamento que permite a medição de parâmetros oceanográficos da água, como a temperatura, pressão e condutividade elétrica. Posteriormente são calculados outros parâmetros como a salinidade, a densidade e a velocidade de propagação do som na água.

O módulo S<sup>2</sup>VTD recebe os dados a partir de dois sensores (*probes*) que permitem a obtenção dos dados do exterior, encontrando-se em contato direto com a água. Estes sensores localizam-se no casco exterior do submarino, ambos a bombordo<sup>67</sup>, um na torre e outro na proa. Quando o submarino se encontra à superfície, o *probe* da torre continua em funcionamento (e.g. dados da temperatura do ar).

O módulo de medição da cota<sup>68</sup> é constituído por três sensores, que integram o *Depth Measuring System*<sup>69</sup>. Estes utilizam diferentes escalas de medição para determinar com exatidão a cota do submarino. Dois desses sensores cobrem toda a escala possível de profundidades para o submarino, enquanto o outro sensor apenas é designado para cotas inferiores na 65 metros, mas com maior resolução (TM 0761.01).

O módulo de navegação (*NAV Module*) é um subsistema do NDMC para gestão da informação de navegação. Os vários sensores que fornecem informação da navegação do submarino enviam os dados para o *Data Distributor* que, posteriormente, são “filtrados” pelo *NAV Module* (de forma algorítmica, baseando-se no Filtro de Kalman<sup>70</sup>).

O *NAV Module* recebe *inputs* de vários sensores do submarino, que disponibilizam a informação de vários parâmetros:

---

<sup>67</sup> Bordo esquerdo do submarino.

<sup>68</sup> Profundidade da quilha do submarino.

<sup>69</sup> Sistema de medição da profundidade.

<sup>70</sup> O Filtro de Kalman permite a filtragem dos dados, estimando os valores atuais com base em medições anteriores, utilizando o “conhecimento” que dispõe acerca do sistema. Este algoritmo entra também em conta com as condições iniciais dos sistemas e com o nível de ruído (erro) das medições.

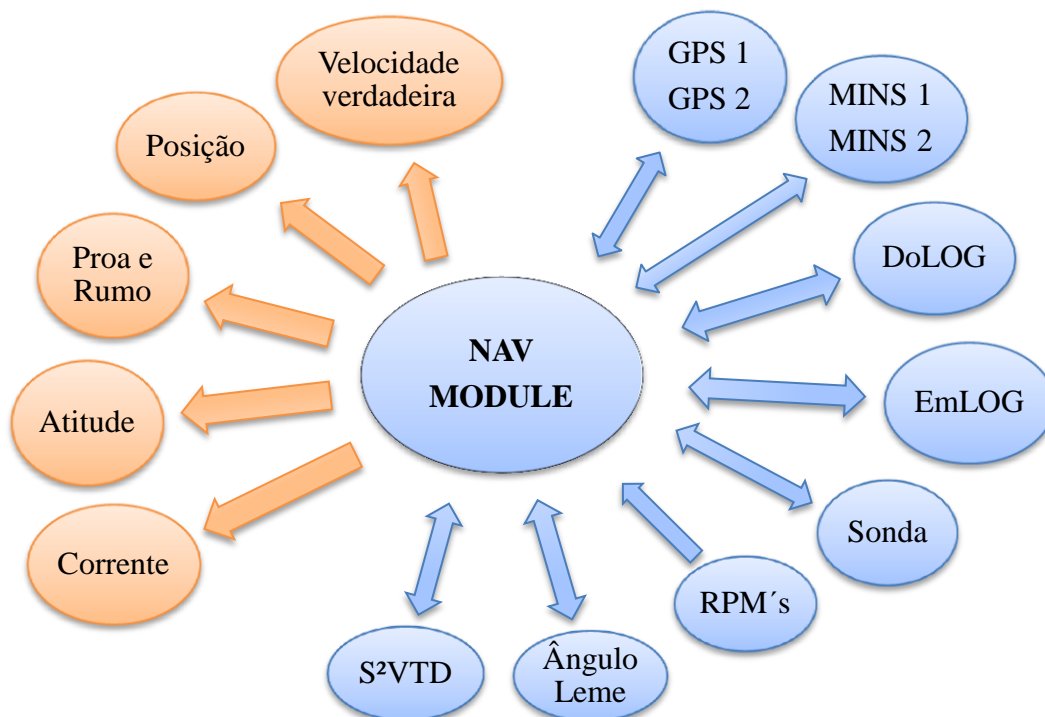


Diagrama 7 - Inputs e outputs NAV Module.

O módulo de navegação permite o cálculo da posição estimada do submarino, rumo, atitude do submarino e corrente, tendo em conta os sensores acima referidos (odómetros<sup>71</sup> DoLOG<sup>72</sup> e EmLOG<sup>73</sup>, ângulos de leme a partir da *Submarine Steering Console*<sup>74</sup>, RPM's<sup>75</sup> a partir do motor elétrico propulsor e restantes a partir dos módulos do NDMC). A informação da proa é proveniente do *Maritime Inertial Navigation System* (MINS) e o cálculo da posição baseia-se na última posição conhecida do submarino.

<sup>71</sup> Os odómetros permitem o cálculo da distância percorrida pelo submarino e consequente velocidade, a partir da medição do fluxo de água que passa pelos sensores.

<sup>72</sup> *Doppler Log Unit* – odómetro utilizado pelo submarino para o cálculo da velocidade verdadeira, profundidade e distância percorrida.

<sup>73</sup> *Electro-magnetic Log* – odómetro utilizado pelo submarino para o cálculo da velocidade (longitudinalmente) e distância percorrida na transversal, constituído por dois *probes* (sensores magnéticos de baixa velocidade) localizados a vante do submarino (um de cada bordo).

<sup>74</sup> Sistema que permite o controlo dos lemes e do rumo, tendo em conta a informação proveniente dos três sistemas do submarino.

<sup>75</sup> Rotações por minuto.





O módulo de navegação assume maior importância quando o submarino se encontra em imersão profunda, pois não está disponível informação GPS. Esta informação é considerada prioritária quando disponível.

Depois de processada a informação pelo *NAV Module*, esta retorna ao *Data Distributor* para ser visualizada nos *displays* e processada pelos vários sistemas de bordo.

O MINS é um sistema de navegação inercial<sup>76</sup> (sistema passivo e autónomo de navegação) que se baseia nos princípios inerciais e giroscópicos (tendo em conta as leis do movimento de Newton). O sistema procede à determinação da velocidade, atitude e deslocamento do submarino a partir de uma posição conhecida (e.g. posição GPS, posição manual). Isto devido à medição do movimento do submarino através dos sensores inerciais (giroscópios e acelerómetros) sem o auxílio de referências externas (e.g. marcas em terra ou no mar). O rigor de posicionamento deste sistema apenas está dependente da precisão dos instrumentos.

O sistema MINS instalado a bordo do submarino é um AHRS<sup>77</sup> de alta precisão.

Considerando o movimento do submarino a três dimensões, quando se encontra submerso, este sistema integra três acelerómetros de precisão e três giroscópios laser que permitem ao sistema permanecer estável no espaço devido à propriedade da inércia<sup>78</sup>. Os sensores dos três eixos permitem o cálculo do rumo, atitude e guinada (*yaw*) do submarino. Estes são interdependentes e encontram-se instalados no bloco de sensores da DRU (plataforma estabilizada e alinhada com o submarino). Este sistema confere ao MINS um maior nível de confiança e precisão da medição, em comparação a outros sistemas inerciais (TM 0761.01).

---

<sup>76</sup> O princípio de funcionamento da navegação inercial baseia-se na medição das acelerações que atuam no submarino, tendo apenas em conta as que se associam ao movimento relativo da Terra (mudanças de velocidade e direção). O cálculo é efetuado a partir da dupla integração das acelerações, relativamente a direções conhecidas do submarino (três eixos). As integrações permitem o cálculo do deslocamento do submarino a partir de uma posição inicial conhecida.

<sup>77</sup> Sistema de referência de atitude e proa.

<sup>78</sup> Propriedade que têm os corpos de persistir no estado de repouso (ou de movimento) quando não intervém uma força que altere esse estado.



O sistema MINS permite também o cálculo da proa, da banda (ou adorno)<sup>79</sup> e do caimento. Este recebe *inputs* tanto do próprio sistema (acelerómetros e giroscópios), como diretamente dos recetores GPS (quando possui cobertura) e dos odómetros.

No que diz respeito à navegação, o NDMC recebe informação de vários sistemas e sensores que tornam possível a constante atualização dos dados do posicionamento do submarino, em tempo real. Estas informações são agrupadas segundo uma lista de prioridades, processadas automaticamente pelo sistema e havendo primazia de prioridade para os dados introduzidos manualmente pelo operador. O NDMC gere as prioridades de forma a garantir que a informação é distribuída com a máxima fiabilidade possível.

Em suma, o NDMC é um dos sistemas principais do submarino que permite a gestão da informação de navegação entre os vários sensores. Assegura também a interface dos dados, permitindo obter a informação essencial ao posicionamento do submarino da forma mais rigorosa possível e com redundância, o que é essencial a um meio militar, principalmente para o emprego de armas.

---

<sup>79</sup> Inclinação, em graus, de um navio para um dos seus bordos (bombordo ou estibordo).



## CAPITULO V - DEFINIÇÃO E ANALISE DO PROBLEMA

---

### 5.1. Introdução

Este capítulo endereça a definição e análise do problema. A definição do problema terá como base a estrutura abordada na metodologia do capítulo I (IEEE Std 1220-2005) para a análise e definição dos requisitos. As orientações definidas na metodologia, na figura 3, serão ajustadas ao contexto do presente trabalho. A análise de requisitos é posteriormente organizada na base de requisitos que definem o problema a abordar. A análise do problema será organizada em termos de soluções possíveis e consistentes com os requisitos assim determinados.

### 5.2. Análise de Requisitos

A análise dos requisitos deste sistema é efetuada segundo sete vertentes:

#### 5.2.1. Justificação da necessidade

O principal interessado no desenvolvimento deste projeto é a Marinha, corporalizada na Esquadilha de Submarinos (ES).

Este projeto pretende dar resposta às solicitações da ES, no âmbito da operacionalização dos submarinos da Classe *Tridente* em missões ISR (*Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance*) próximo de costa. Tendo em conta o nível de evolução de I&D dos AUV's em Portugal, foi considerada a utilização destes como plataformas de apoio a estas missões.

A restrição colocada pela ES relativamente ao conceito de operação dos AUV's a partir dos submarinos assenta na minimização das possíveis modificações a introduzir nestes. A interface entre o AUV e o submarino deve ser preferencialmente baseada nos sistemas dos submarinos, reduzindo assim a integração de sistemas exteriores à plataforma.

#### 5.2.2. Restrições externas

O conceito que está a ser desenvolvido no presente trabalho aborda questões que nunca foram desenvolvidas em Portugal, não existindo regulamentação nacional a ser abordada neste tópico.



A nível internacional, fora da Europa, existem várias marinhas a desenvolver conceitos similares, utilizando tanto a I&D dos AUV's de empresas externas (e.g. empresa Teledyne Gavia na Marinha Russa), como de entidades internas da própria marinha (e.g. NAVSEA<sup>80</sup> na Marinha dos EUA). Neste contexto esta marinha apresenta experiência e vantagens significativas, principalmente na operação de AUV's a partir de submarinos (revisão bibliográfica no Capítulo II), devido à disponibilidade de plataformas e recursos (submarinos e parcerias com empresas de I&D de AUV's).

Considerando a situação europeia, algumas Marinhas detêm o I&D dos AUV's juntamente com as empresas que os constroem enquanto outras os adquirem a empresas externas (e.g. empresa Kongsberg Maritime na Marinha do Reino Unido). Algumas marinhas ainda não possuem AUV's, nomeadamente a Marinha de Espanha.

### 5.2.3. Cenários operacionais

Na operação do AUV a partir do submarino os cenários operacionais a considerar são os seguintes:

- Missões de REA;
- Mapeamento discreto de uma área (dentro ou fora de um porto);
- Missões de ISR;
- Missões de MCM.

Em missões de REA (*Rapid Environmental Assessment*) a operação do AUV a partir do submarino terá como objetivo a recolha de dados meteo-oceanográficos ou mapeamento de uma área de forma não discreta (*overt*). Geralmente esta recolha é realizada antes de uma operação militar, de forma a apoiar as forças navais na área de operações. Nesse sentido o AUV seria lançado pelo submarino o mais próximo da área possível de forma a minimizar os riscos de operação e a manter contato positivo com o AUV. A duração deste tipo de missões está limitada principalmente pela autonomia do AUV.

Os restantes cenários operacionais partilham da componente discreta, pois em qualquer um o submarino pode ser identificado. Tanto para o mapeamento discreto, como para ações de ISR ou missões MCM (*Mine Countermeasures*), o submarino deve lançar o AUV de uma posição afastada da área de operações de forma a manter a discrição. O procedimento

---

<sup>80</sup> *Naval Sea Systems Command* – maior comando da Marinha dos EUA (existem cinco) que visa a projeção, construção e apoio aos navios e sistema de combate da Marinha.



adotado em ambas as situações é semelhante: em que o AUV sai do submarino, procede à recolha de dados na área de operação (o submarino executa NAVPLAN afastando-se) e no final o AUV regressa ao submarino (posição *rendez-vous*). Quanto às missões de MCM, o fator “perda do AUV” deve ser altamente considerado devido à natureza da missão. Neste tipo de missões o empenhamento do fator humano não deve ser considerado, sendo grande parte dos riscos da missão suportados pelo AUV.

Na operação com o AUV a partir do submarino deverá estar previsto o emprego de regras de empenhamento (ROE's).

Para cada cenário de operação serão definidos ambientes de utilização no ponto número 6.

A utilização do AUV num cenário operacional requer que a guarnição do submarino esteja treinada no manuseamento e operação do AUV. Nesse sentido é importante existir a bordo uma equipa treinada para operar com o AUV (e o C<sup>2</sup> associado) e que atue quando solicitado.

#### **5.2.4. Limitações/restrições**

O submarino e o AUV são sistemas independentes, que, estando já desenvolvidos, devem sofrer o mínimo de modificações possível. Nesse sentido devem ser preferencialmente utilizados os sistemas que cada um integra para a operação conjunta.

No submarino existe três estruturas passíveis de utilização por parte do AUV, nomeadamente a eclusa, o sistema de tubos lançadores de armas e um paiol molhado que se encontra localizado no casco a ré (*waterbox*).

A nível estrutural e operacional a eclusa e o sistema de tubos não apresentam restrições quando à sua utilização para lançamento e recolha do AUV. Ambas as situações têm a possibilidade de instalação de equipamentos/sensores, segundo verificação e autorização das entidades competentes. A *waterbox* não deverá ser utilizada na operação com o AUV devido à sua desvantagem estrutural (localização a ré do submarino) e necessidade de recurso ao fator humano durante a operação (e.g. mergulhadores).



### 5.2.5. Interfaces

Existem quatro tipos de interfaces a considerar na operação entre o submarino e o AUV:

- Mecânica – Interação entre as duas plataformas (lançamento e recolha); Esta deverá requerer o desenvolvimento de uma estrutura para suporte do AUV durante o lançamento e integração do sistema de posicionamento (USBL) a bordo do submarino.
- Elétrica – Ligação do AUV ao sistema de lançamento, carregamento do AUV e ligação dos sistemas do AUV ao submarino;
- Comunicações e posicionamento do AUV – Para fazer a ligação entre os sistemas de comunicações utilizados pelo submarino e o AUV.
- Humana – Empenhamento dos mergulhadores e dos elementos da guarnição nas operações com o AUV.

### 5.2.6. Ambiente de utilização

O AUV a operar a partir do submarino será empenhado em missões cujo objetivo é a recolha de dados numa determinada área. Para definir esta área de operações devem ser considerados dois fatores: localização e caracterização da área.

Esta área poderá estar localizada junto a costa, à entrada/saída de um porto ou costa aberta, ou então em áreas mais afastadas de costa, mantendo a batimétrica dos 100 metros (profundidade máxima de operação do AUV).

Segundo a análise detalhada de algumas situações-tipo presente no Anexo F deste trabalho, em termos de planeamento da missão, é possível definir parâmetros genéricos para caracterizar uma área de operações. Estes parâmetros podem ser divididos em duas classes, tendo em conta a principal influência colocada na operação do submarino e do AUV:



Aproximação à área de operações			Área de operações		
Morfologia costeira		Condições meteo-oceanográficas	Tipo de fundo	Morfologia do fundo (relativamente a costa)	Tráfego marítimo
Acidentes geográficos naturais	Estuário	Estado de mar	Areia	Batimetria	Mercante
	Canal	Vento			
	Península	Correntes	Lodo		Pesca
	Ilha	Parâmetros da água			
	Cabo		Cascalho	Declive elevado, reduzido ou nulo	Recreio
Orla costeira ampla		Maré			
Orla costeira rochosa		Diurno	Rocha		

Tabela 1 – Caracterização da área de operações.

A morfologia costeira caracteriza o ambiente envolvente da área de operações, condicionando a operação e navegação do submarino (e.g. proas adotadas). Considerando um estuário (situação 2 do anexo), o submarino será influenciado pelas condições meteo-oceanográficas e pela morfologia do fundo, pois este acidente geográfico natural é caracterizado pela presença da corrente de maré, variações dos parâmetros da água (mistura de água) e batimétricas superiores no local de descarga da água. A aproximação a um canal (situação 1) ou uma península (situação 4) também apresentam características específicas, como a influência na batimetria ou tipo de fundo do local. Quando a área está localizada junto a uma ilha (situação 6) deve ser considerada a proximidade a outras ilhas (e.g. arquipélago) que condiciona a operação do submarino e do AUV (maior dificuldade de operação). A presença de um cabo (situação 3 e 5) pode constituir uma vantagem tática para a operação, devido à sua utilização para encobrir a movimentação ou posicionamento do submarino.

O tipo de orla costeira influencia principalmente o tipo e morfologia do fundo, que condicionam o lançamento e recolha do AUV, no que diz respeito à postura do submarino, i.e. proximidade a costa no L&R do AUV e forma de L&R assumida pelo submarino (e.g. tipo de fundo condiciona o assentamento).



Devido às suas dimensões, o AUV é mais influenciado pelas condições meteo-oceanográficas do que o submarino, principalmente à superfície. Considerando um estado de mar alteroso (ondulação entre 4 a 6 metros<sup>81</sup>), o submarino pode ser influenciado pela ondulação até algumas dezenas de metros (depende de vários fatores) sendo desaconselhada a sua operação perto da superfície. Quanto ao AUV, visto que a sua profundidade máxima de operação é inferior à do submarino (100 metros de profundidade), também o estado do mar suportado por este é diferente. Considerando um estado de mar cavado (ondulação entre 1,25 e 2,50 metros), este condiciona bastante a operação do AUV à superfície, permitindo apenas a operação com segurança a partir dos 10 metros de profundidade.

O vento apenas condiciona as operações à superfície, atuando principalmente na agitação marítima e nas correntes de superfície.

Tendo em conta a influência das correntes marítimas (de superfície e submarinas) na operação das duas plataformas, o AUV apresenta um comportamento menos estável devido à sua reduzida dimensão e velocidade (máximo de 4 nós). Assim sendo, a operação deste não deve ser considerada em ambientes na qual a corrente seja superior a 3 nós, pois reduz a sua eficácia. Quanto ao submarino, este possui um sistema de regulação do caimento e do peso que lhe confere bastante estabilidade numa determinada cota, minimizando os efeitos da corrente.

Os parâmetros da água como a temperatura, a salinidade e a densidade podem influenciar a operação, principalmente quando ocorrem alterações bruscas e acentuadas nos valores. Estas alterações podem influenciar tanto a navegação do AUV, como a recolha dos dados. Quanto ao submarino, as diferenças de densidade influenciam bastante no que diz respeito ao controlo da cota, podendo provocar alterações bruscas (também podem provocar correntes fortes).

Quanto às marés, devem ser consideradas as correntes de maré, tendo em conta a enchente e a vazante.

No que diz respeito ao período do dia, a operação com o AUV é privilegiada durante o dia, pois caso o AUV tenha alguma falha durante a operação é mais difícil a sua

---

<sup>81</sup> Escala de Douglas das condições de mar.





localização durante a noite (no caso de empenhamento dos mergulhadores). Mas operacionalmente é mais importante ser à noite, devido à discrição da operação.

A morfologia do fundo deve ser conhecida pelo submarino, pois a batimetria e o tipo de declive irão condicionar o planeamento da missão (e.g. distância a costa, resguardos ao fundo, condições para assentamento no fundo).

O tráfego marítimo deve ser considerado para efeitos da operação do AUV, pois pode condicionar a vinda deste à superfície.

#### **5.2.7. Requisitos funcionais**

As principais funções que o sistema a desenvolver deve oferecer são:

1. Lançamento do AUV sem comprometimento dos sistemas do submarino;
2. Monitorização, se viável, da execução da missão do AUV por parte do submarino;
3. Monitorização do plano da missão do AUV minimizando as falhas do sistema;
4. Recolha do AUV pelo submarino em tempo útil e de forma sistematizada.
5. Posicionamento do AUV relativo ao submarino na fase de aproximação para recuperação.

Para cada função existem funcionalidades que devem ser satisfeitas por elementos do sistema, nomeadamente, o AUV, o submarino e os mecanismos de suporte (sistema mecânico e elétrico).

### **5.3. Base dos requisitos**

#### **5.3.1. Vista Operacional**

O objetivo da missão é a operação autónoma do AUV a partir do submarino, de forma a integrar vários cenários operacionais com recurso ao levantamento de informação relevante acerca de uma área definida. Esta missão compreende uma sequência de operação: Planeamento da missão, instalação do AUV no submarino, lançamento do AUV, seguimento de missão, recolha do AUV.

A vista operacional permite definir a forma como o sistema beneficia os utilizadores, neste caso, os interessados definidos no ponto número 1.



Segue-se a definição dos fatores operacionais segundo os requisitos gerais e de *performance* do sistema com a atribuição de códigos que identificam os vários tipos de requisitos.

Código	Tipo	Requisito	Requisito performance
<b>CO01</b>	Missão <i>covert</i> ou <i>overt</i>	Lançamento e recolha do AUV	Definição NAVPLAN do submarino
		Definição da postura de comunicações do submarino	Definição do plano de missão do AUV
<b>CO02</b>	Aproximação à área de operações (zona costeira)	O AUV deve ser lançado e recolhido em imersão a uma distância segura e numa zona de aproximação definida (discrição, segurança)	Facilidade de integração no submarino
			Facilidade de integração do AUV
		Os ambientes de utilização devem ser considerados	Caracterização do ambiente onde a área de operações se insere
			Avaliação do nível de ameaça

Tabela 2 - Cenário de operações.



Código	Tipo	Requisito	Requisito performance
<b>OA01</b>	Tipo e morfologia do fundo	NAVPLAN do submarino	O submarino pode assentar no fundo durante a missão
		Condiciona o plano de missão do AUV	O tipo de fundo influencia a recolha de dados
	Batimetria	O submarino deve lançar e recolher o AUV na batimetria dos 100 metros	O submarino deve guardar um resguardo ao fundo durante a operação (a definir consoante a missão)
		O AUV pode operar até ao máximo de 100 metros	O AUV deve manter a distância ao durante a missão
<b>OA02</b>	Correntes	Condicionamento do lançamento e recolha do AUV pelo submarino	O submarino deve aproar à corrente para lançamento do AUV
			O submarino deve colocar-se perpendicularmente à trajetória do AUV para a recolha (eclusa)
		Condicionamento na operação do AUV	O AUV não deve operar com mais de 3 nós de corrente.
	Estado de mar (agitação marítima)	A recolha deve ser efetuada em zonas em que o movimento vertical do submarino seja reduzido	Facilidade de integração no submarino Facilidade de integração no AUV
		O AUV não deve operar com ondulação superior a 1 metro	
		O submarino deve definir a cota de operação considerando o estado de mar	
<b>OA03</b>	Parâmetros da água	Monitorização dos parâmetros da água	Submarino influenciado pelas diferenças de densidade
			Recolha dos dados do AUV influenciada pelas variações dos parâmetros

Tabela 3 - Área de operações.



Código	Tipo	Requisito	Requisito performance
A01	Lançamento	Efetuação de forma automática	Facilidade de integração no submarino (utilização dos sistemas de bordo)
		Possibilidade de efetuar mais que uma vez durante a missão	Facilidade de integração do AUV
		Deve ser efetuado com o submarino em imersão estática ou assentamento no fundo	
A02	Comando e Controlo (C <sup>2</sup> )	Definição da posição R/V para <i>docking</i>	Deve integrar o plano de missão do AUV
		Alteração da posição R/V para <i>docking</i>	Através de comunicações satélite pelo submarino ou por uma estação em terra
A03	Recolha	Deve ser efetuado de forma automática	Facilidade de integração no submarino (utilização dos sistemas de bordo)
		Possibilidade de efetuar mais que uma vez durante a missão	Facilidade de integração do AUV
		Deve ser efetuado com o submarino em imersão (imersão estática ou assentamento no fundo)	

Tabela 4 - Operação.

Estes requisitos definem linhas de ação do sistema, no que diz respeito à aproximação do submarino à área de operações e à operação do submarino e do AUV.



### 5.3.2. Vista Funcional

Código	Tipo	Requisito	Requisito performance
<b>C01</b>	Comunicações em imersão AUV - Submarino	Acústicas quando em imersão	Distância máxima para detecção depende da frequência e potência
		Potência ajustável	Conhecimento da frequência Tx do <i>modem</i> do AUV
<b>C02</b>	Comunicações <i>wireless</i> AUV - Submarino	GSM	Distância máxima de operação depende da cobertura de rede
		Comunicações satélite	Integração com sistema submarino e com sistema AUV ( <i>Iridium</i> )
<b>C03</b>	Comunicação AUV sistema de comando da esquadrilha de submarinos (SUBOPAETH)	Comunicações satélite	Integração com sistema AUV ( <i>Iridium</i> )

Tabela 5 - Comunicações.

Código	Tipo	Requisito	Requisito performance
<b>I01</b>	Sistemas do AUV	C <sup>2</sup> do AUV	C <sup>2</sup> independente dos sistemas do submarino
		Carregamento da bateria	Restrições de potência
			Utilização dos sistemas do submarino
<b>I02</b>	Sistema de lançamento no submarino	Integração de estrutura mecânica	Adaptabilidade aos sistemas de bordo

Tabela 6 - Integração do AUV no submarino.



Código	Tipo	Requisito	Requisito performance
<b>P01</b>	Posicionamento	Sistema que permita ao AUV fazer a aproximação final ao submarino	Distância máxima para detecção
			Distância máxima para efetividade de condução
			Facilidade de integração no submarino
			Facilidade de integração no AUV
<b>P02</b>	Localização em Azimute à superfície	AUV a transmitir à superfície	Distância máxima para detecção depende potência Tx do AUV
		Antena ESM COMINT submarino	Conhecimento frequência Tx do AUV

Tabela 7 - Posicionamento relativo do AUV e do submarino para recolha.

Código	Tipo	Requisito	Requisito performance
<b>E01</b>	Falha do AUV	Identificar tipo de falha	Facilidades de recolha do AUV
		Conhecimento da posição do AUV	Vinda do AUV à superfície
<b>E02</b>	Falha do submarino	Identificar tipo de falha	Facilidades de recolha do AUV
		Conhecimento da posição do AUV	
<b>E03</b>	Falha L&R	Identificação tipo de falha	Alternativas ao L&R
		Conhecimento da posição do AUV	

Tabela 8 - Sistema de emergência.



Estes requisitos influenciam a operação do ponto de vista funcional, condicionando todo o processo desde o lançamento até à recolha do AUV pelo submarino.

### **5.3.3. Vista de Projeto**

Na operação do AUV a partir do submarino deve ser privilegiada a utilização dos sistemas, quer do submarino, quer do AUV. Nesse sentido apenas pequenas adaptações devem ser consideradas. Caso seja necessária a alteração de algum componente do submarino, deve ser contactado o organismo Diretor Técnico (ODT), i.e, Direção de Navios - Divisão de Submarinos. Quanto ao AUV, o LSTS detém a responsabilidade de integração ou modificação dos seus componentes.

### **5.4. Soluções do sistema**

No que diz respeito ao lançamento e recolha do AUV pelo submarino existem duas soluções:

- Sistema de Tubos lançadores de armas;
- Eclusa.

A tabela 9 caracteriza as modificações necessárias para o lançamento e recolha do AUV, considerando as duas soluções possíveis e várias vertentes:



VERTENTE		Sistema de Tubos		Eclusa	
		Lançamento	Recolha	Lançamento	Recolha
Mecânica		Desenvolver um berço para suporte do AUV		Desenvolver uma ficha elétrica para comunicações	Instalação do USBL para recolha
		Desenvolver uma ficha elétrica para comunicações			
Elétrica		Utilização do sistema de alagamento dos tubos		Utilização do sistema de alagamento da eclusa	
		Utilização da consola hidráulica a ligações dos tubos		Utilização das ligações da eclusa	
Comunicações		Transdutor da <i>Gateway</i> do AUV intalado no tubo	USBL instalado no tubo	Transdutor da <i>Gateway</i> do AUV instalado no tubo	USBL instalado na eclusa
Posicionamento do AUV		Modem gateway instalado no tubo	USBL instalado no tubo	Modem gateway instalado no tubo	USBL instalado na eclusa
Humana		Embarque e desembarque do AUV no tubo		Sempre presente	
Operacional	Vantagem	Vantagem Tática	Operacionalização do meios	Operação mais controlada mas com mais recursos	Operação mais simples (menor risco associado)
	Desvantagem	Menor controlo à saída do tubo	Operação mais complexa (maior risco associado)	Recurso a mergulhadores	
				Maior vulnerabilidade do submarino	

Tabela 9 - Modificações nos sistemas do submarino.





Através da tabela é possível verificar que não existem muitas diferenças quanto à utilização do sistema de tubos ou da eclusa para lançamento e recolha, principalmente na vertente de comunicações e posicionamento do AUV. As grandes diferenças estão presentes na vertente mecânica, pois na questão do sistema tubos é necessário desenvolver um berço que fixe o AUV ao interior do tubo para transporte até à extremidade; e humana, pois na eclusa o AUV tem que ser transportado até à porta por um elemento.

Considerando os cenários operacionais de atuação do sistema e a vertente operacional, uma das soluções mais vantajosas e eficaz para o lançamento do AUV é o sistema de tubos do submarino, enquanto a recolha, em primeira instância, deve ser realizada a partir da eclusa.

Os tubos foram construídos para o lançamento de armas, assim sendo, permitem o automatismo e eficácia do empenhamento operacional dos AUV's. O impacto na plataforma é mínimo e a possibilidade de utilizar a instalação para um lançamento seguro do AUV é um fator preponderante na escolha desta solução.

Quanto à recolha, com o desenvolvimento atual dos AUV's, a melhor solução é a eclusa, com recurso a mergulhadores.

## CAPITULO VI - SOLUÇÃO PROPOSTA

---

### 6.1. Introdução

O sistema solução é composto por produtos e processos (descrito no capítulo I), contemplando todos os elementos do sistema, nomeadamente a integração de novos produtos e novos processos de operação e de manutenção. Quanto à integração de novos produtos está relacionada com a instalação de sistemas mecânicos (um berço para o AUV e o sistema de posicionamento USBL) e elétricos (ligações elétricas) para interação com o submarino, e alteração do *software* de bordo e da estação de controlo do AUV. Neste capítulo será dada particular atenção ao desenvolvimento do conceito de operação.

O SBS do sistema está ilustrado no diagrama 8:

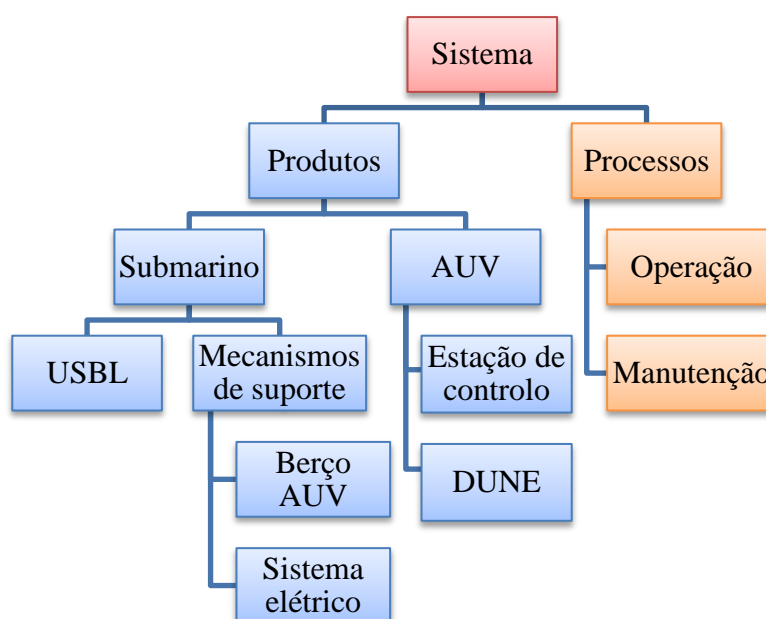


Diagrama 8 - Novos sistemas do AUV e do submarino.

Tendo em conta o estudo apresentado no capítulo anterior, serão consideradas as várias fases da operação do sistema para a definição do conceito de operação do sistema:

Fase 0: Planeamento da missão – Compreende o NAVPLAN do submarino, a definição e introdução do plano de missão do AUV no Neptus e a preparação dos sistemas do submarino;

Fase 1: Lançamento do AUV - Compreende a preparação do AUV e do sistema de lançamento do submarino e o processo de saída do AUV;

Fase 2: Operação das plataformas – Compreende a operação isolada das duas plataformas e eventual articulação, desde o lançamento até ao início da aproximação do AUV ao submarino para recolha.

Fase 3: Recolha do AUV – Compreende a preparação do sistema de recolha do submarino, o *docking* do AUV e a recolha de dados do AUV.

## 6.2. Subsistemas

Para a definição do conceito de operação é necessário proceder a pequenas alterações, quer no submarino como no AUV.

No submarino terá que ser instalado um sistema de posicionamento USBL que comunicará com o *modem* do AUV (já integrado no veículo) e mecanismos de suporte para adaptação do AUV aos sistemas do submarino. Quanto ao AUV, as alterações serão apenas de *software*, procedendo a modificações na estação de controlo Neptus e no software de bordo DUNE.

### 6.2.1. Submarino

#### 6.2.1.1. USBL Evologics S2C R 18/34



Figura 35 - USBL Evologics.

Características técnicas<sup>82</sup>:

- Dimensões: largura 0,10 metros (10 cm) e comprimento 0,26 metros (26 cm);
- Peso: 5,76 Kg / 0,73 Kg (seco/molhado);
- Alcance médio: 3500 metros;

<sup>82</sup> Características técnicas do USBL Evologics retiradas do site:  
[http://www.evologics.de/en/products/USBL/s2cr\\_18\\_34\\_usbl.html](http://www.evologics.de/en/products/USBL/s2cr_18_34_usbl.html).



- Profundidade máxima: 200 metros;
- Banda frequência: 18 - 34 kHz;
- Velocidade de Tx dos dados: 13,9 kbits/sec;
- Fonte de alimentação: 24V DC.

O USBL da empresa Evologics<sup>83</sup> (modelo S2C R 18/34)<sup>84</sup> é um transdutor omnidirecional horizontal<sup>85</sup> que permite o seguimento (localização), a navegação e a transmissão de dados em simultâneo, de AUV's ou ROV's. A precisão de medição da posição é na ordem dos 0,015 metros (1,5 centímetros) quando estacionário ou com movimento lento e de 0,5 metros (5 centímetros) a 0,10 metros (10 centímetros) para velocidade mais elevadas.

Para o conceito do presente trabalho, o transdutor USBL será unicamente utilizado para auxiliar a recolha do AUV tanto a nível de posicionamento deste (interface com o *modem* instalado no AUV), como de controlo da posição por parte do submarino (interface com a estação de controlo do AUV). Nesse sentido, seria considerada a instalação do transdutor USBL no interior da eclusa, de forma a não provocar modificações no procedimento de operação desta.

#### **6.2.1.2. Berço AUV**

A solução mais viável para adaptar o AUV ao sistema de tubos lançadores de armas é o desenvolvimento de um berço que suporte o AUV e se adapte à estrutura interior do tubo e aos sistemas utilizados para o embarque de torpedos e lançamento de minas (procedimento semelhante).

Este procedimento consiste no acoplamento de um braço mecânico (*loading jack*), parte integrante da estrutura interior do tubo, à arma (torpedo ou mina) que permite o transporte ao longo do tubo (por intermédio do carril de transporte).<sup>86</sup>

---

<sup>83</sup> Empresa alemã que desenvolve equipamentos de alta tecnologia para várias indústrias (e.g. espaço, marítima) (<http://www.evologics.de/en/Company>).

<sup>84</sup> Modelo S2C (tecnologia *Sweep-Spread Carrier*) que é o método de comunicação acústica mais avançado e com melhor precisão na transmissão de dados digitais, neste modelo, na banda de frequências de 18 kHz até 34 kHz.

<sup>85</sup> Capacidade de cobertura (transmissão de feixes acústicos) num ângulo de 360°, relativo ao plano horizontal do transdutor (colocado na vertical).

<sup>86</sup> Este conceito encontra-se descrito no Anexo D, juntamente com a caracterização do sistema de tubos, devido à classificação de segurança.

Considerando este processo, é necessário construir uma estrutura semelhante à das armas utilizadas nos tubos, de forma a provocar o mínimo de alterações possíveis aos sistemas do submarino.

Para este conceito será considerado um modelo semelhante à estrutura das minas *Murena*<sup>87</sup> (figura x) de forma a possibilitar o acoplamento do braço mecânico à parte anterior.

A figura y exemplifica o modelo do berço a desenvolver para o AUV:



Figura 36 - Mina Murena.



Figura 37 - Modelo do berço do AUV.

O modelo adotado deverá ser cilíndrico e aberto em cima, facilitando a fixação do AUV e a sua base deverá ser adaptável ao interior dos tubos, de forma a acoplar ao carril de transporte das armas.

#### 6.2.1.3. Sistema elétrico

Tanto o sistema de tubos como a eclusa possibilitam a comunicação com o seu interior, a partir de fichas elétricas. No caso do sistema de tubos lançadores de armas existe uma ficha elétrica que permite a comunicação dos sistemas do submarino com a arma (torpedo ou míssil) no interior do tubo, constituída pelo lado interior e pelo lado exterior (conceito explicado no anexo D do presente trabalho). Na eclusa existem várias fichas elétricas que asseguram as comunicações visuais (i.e. câmara de vídeo e luz) e áudio, entre o interior desta e a guarnição no interior do submarino.

Para o conceito do presente trabalho a adaptação tanto à ficha elétrica dos tubos, como a uma das fichas elétricas da eclusa iria possibilitar a comunicação do AUV com a estação de controlo (i.e. sistema Neptus) localizada no interior do submarino, utilizando o transdutor da Manta *gateway* ou o transdutor USBL. No caso da eclusa, a utilização de uma das fichas elétricas por parte do AUV iria pressupor a perda de uma das suas

---

<sup>87</sup> Tipo de mina operada pelos submarinos da Classe *Tridente*.



funcionalidades, comunicação visual pela camara (controle da operação no interior do AUV pelo operador) ou as luzes (iluminação no interior da eclusa). Esta decisão ficaria à consideração do comandante do submarino.

## 6.2.2. AUV

### 6.2.2.1. Sistema Neptus e DUNE

Para proceder à recolha do AUV no submarino (processo de *docking*) é necessário acrescentar ao DUNE (*software* de bordo) uma manobra de *docking* e ter a possibilidade de utilizar essa manobra no planeamento de missões no sistema Neptus.

O *software* do AUV integra modelos matemáticos sob a forma de máquina de estados finitos<sup>88</sup> (*Finite State Machine*).

A integração do processo de *docking* no AUV engloba várias ações que devem ser consideradas, nomeadamente, alternativas de operação em caso de falha do sistema.

O diagrama X caracteriza a sequência de ações do AUV durante o processo de lançamento e recolha (L&R), sob a forma de diagrama de transição de estado, e que deverá ser integrado no DUNE:

---

<sup>88</sup> A máquina de estados finitos é um modelo matemático de um sistema utilizado em circuitos lógicos, com *inputs* e *outputs* distintos. O “estado” do sistema compila a informação que diz respeito a *inputs* passados, que serão utilizados para determinar o comportamento do sistema e consequentemente dos seus *inputs* (exemplo do mecanismo de controlo de um elevador). Este modelo tem como base uma máquina abstrata, que se encontra num “estado” de cada vez – estado atual - e este armazena informações do passado (gravadas), ou seja, pondera as ações desde o início do sistema até ao estado atual. Uma transição implica uma mudança de estado, com consequente mudança de ação (uma atividade realizada num determinado momento). A máquina de estado tipo aceitador (finita) é um autómato determinístico finito: conjunto de estados finitos – quantidade finita e limitada de informação. Essa informação é representada por um estado da máquina e só existe um número finito de estados. Um autómato determinístico finito, de um modo geral, aceita uma cadeia se, partindo do estado inicial e mudando de estado de acordo com a função de transição, atinge um estado final ao terminar de ler a cadeia. (Lee & Varaiya, 2001)

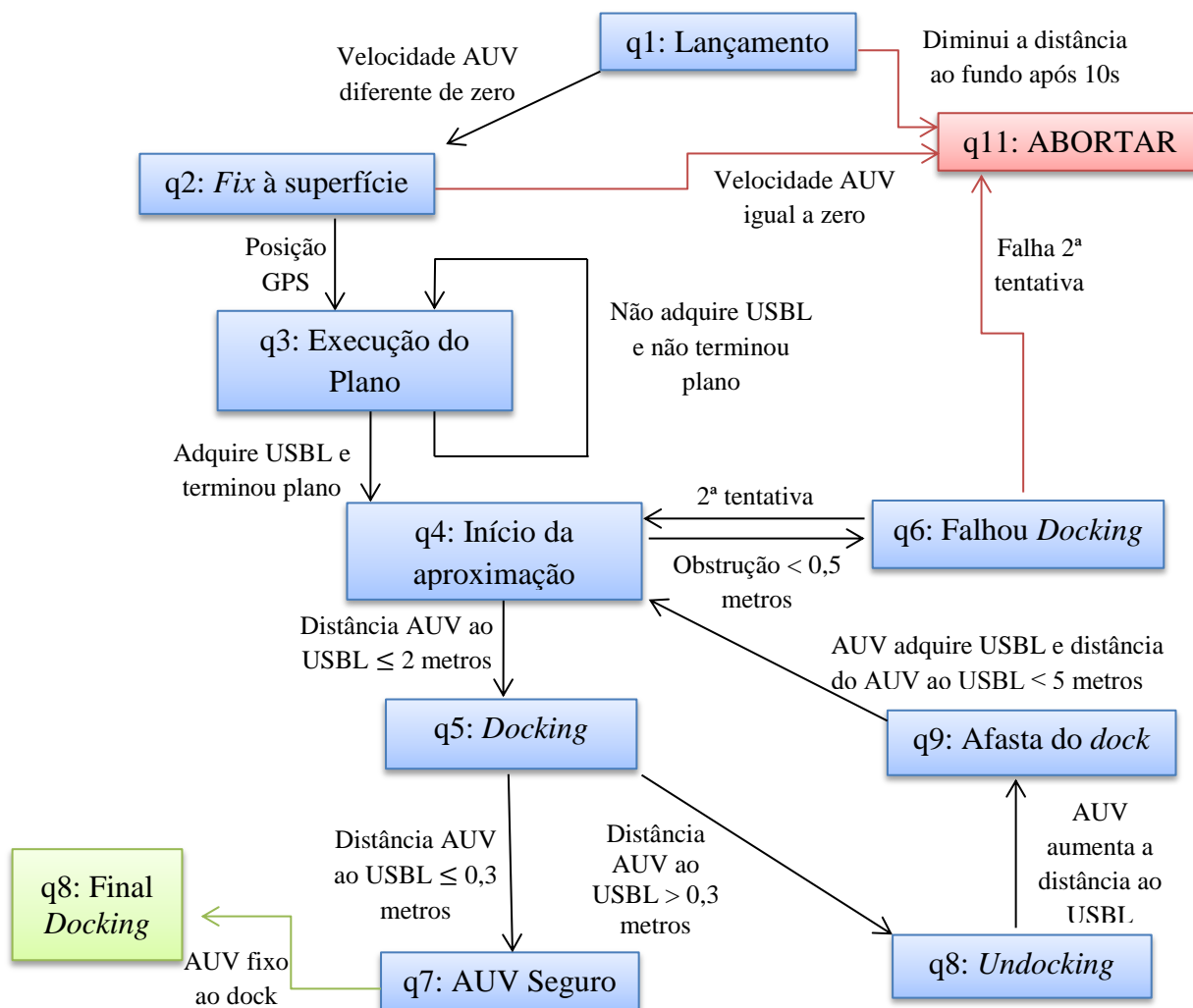


Diagrama 9 - Sistema L&R.

Este diagrama de transição caracteriza um autômato finito determinístico<sup>89</sup> em que, para cada estado do sistema, a transição para o estado seguinte ou para o mesmo estado está condicionada pelos *inputs* do sistema. Se os *inputs* não se verificarem, o AUV mantém-se no mesmo estado.

A tabela seguinte resume os *inputs* do sistema:

<sup>89</sup> Significado semelhante a máquina de estados finitos.



Estado A	<i>Input</i>	Estado B
<b>q1:</b> Lançamento AUV	Velocidade AUV diferente de zero	<b>q2:</b> <i>Fix</i> à superfície
<b>q1:</b> Lançamento AUV	Velocidade AUV igual a zero	<b>q11:</b> AUV Aborta missão
<b>q2:</b> <i>Fix</i> à superfície	AUV adquire posição GPS de início de plano	<b>q3:</b> Execução do plano
<b>q2:</b> <i>Fix</i> à superfície	AUV não adquire posição GPS	<b>q11:</b> AUV Aborta missão
<b>q3:</b> Execução do plano	AUV adquire USBL (dentro do alcance) e AUV terminou plano	<b>q4:</b> Início da aproximação
<b>q3:</b> Execução do plano	AUV não adquire USBL e não terminou plano	<b>q3:</b> Execução do plano
<b>q4:</b> Início da aproximação	Distância do AUV ao USBL $\leq$ 2 metros	<b>q5:</b> <i>Docking</i>
<b>q4:</b> Início da aproximação	AUV identifica obstrução a distância $<$ de 0,5 metros	<b>q6:</b> Falhou <i>docking</i>
<b>q6:</b> Falhou <i>docking</i>	AUV executa 2ª tentativa de aproximação	<b>q4:</b> Início da aproximação
<b>q6:</b> Falhou <i>docking</i>	AUV falha 2ª tentativa de aproximação	<b>q11:</b> AUV Aborta missão
<b>q5:</b> <i>Docking</i>	Distância do AUV ao USBL $\leq$ 0,3 metros	<b>q7:</b> AUV seguro
<b>q5:</b> <i>Docking</i>	Distância do AUV ao USBL $>$ 0,3 metros	<b>q8:</b> <i>Undocking</i>
<b>q8:</b> <i>Undocking</i>	AUV aumenta a distância ao USBL	<b>q9:</b> Afasta do <i>dock</i>
<b>q9:</b> Afasta do <i>dock</i>	AUV adquire USBL e distância do AUV ao USBL $\leq$ 5 metros	<b>q4:</b> Início da aproximação
<b>q7:</b> AUV seguro	AUV fixo ao <i>dock</i>	<b>q10:</b> Final <i>Docking</i>

Tabela 10 - Transição de estados do sistema L&R.



### 6.3. Conceito de operação detalhado

Este subcapítulo, devido à natureza do conteúdo, será abordado em tópicos para melhor compreensão:

#### → Definição da operação

Em primeira instância deve ser definida a missão e o cenário operacional, de forma a definir a área de operações e depois caracterizado o ambiente de utilização, segundo os parâmetros definidos no capítulo V (análise de requisitos).

Quanto à operação do AUV a partir do submarino, irá consistir nas seguintes fases:

1. Aproximação do submarino à área de operações;
2. Lançamento do AUV na posição A;
3. Execução do plano de missão do AUV;
4. Recolha do AUV na posição B (posição R/V).

Na questão do lançamento e recolha do AUV podem ser considerados dois modos de operação (descritos nas figuras 38 e 39):

- Posição A diferente da posição B
- Posição A igual à posição B

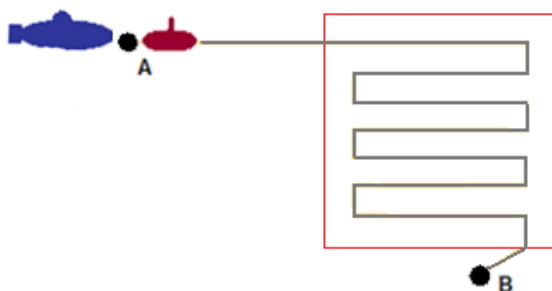


Figura 40 - Modo de operação 1.



Figura 38 - Modo de operação 2.

Quando a posição de lançamento do AUV (posição A) é diferente da posição de recolha (posição B), deve ser considerado o NAVPLAN do submarino durante o período de missão do AUV. Este NAVPLAN depende de vários fatores (e.g. nível de ameaça, ambiente de operação, tempo de missão do AUV) e fica ao critério do comandante do submarino.



A situação em que a posição A é igual à B pode ocorrer no caso de assentamento no fundo do submarino, permanecendo imóvel durante a missão do AUV.

Relativamente à definição do plano de missão do AUV, devem ser considerados alguns fatores para introdução na estação de controlo:

- *Waypoints* da área de operação;
- Tipo de fiadas e disposição das mesmas;
- Profundidade de operação, relativamente à superfície ou ao fundo<sup>90</sup>;
- Posição de início e final de plano;
- Posição de R/V com o submarino.

A introdução dos códigos no sistema Neptus é efetuada a bordo do submarino, pelo operador, de acordo com a missão e empenhamento esperado do AUV.

→ **Posicionamento do submarino para o lançamento do AUV:**

Para proceder ao lançamento do AUV, o submarino pode adotar três modos diferentes: à cota periscópica, em imersão profunda e assentamento no fundo. Esta escolha está dependente de fatores como o nível de ameaça (possível exposição do submarino à ameaça), postura adotada pelo submarino (*covert/overt*), tipo e morfologia do fundo, entre outros.

Considerando o lançamento do AUV em imersão profunda, o submarino deve considerar as condições oceanográficas, principalmente a corrente, para posicionamento na posição de lançamento. No que diz respeito ao lançamento à cota periscópica, fatores como o tráfego marítimo devem também ser considerados.

O submarino integra sistemas de regulação do peso e do caimento, que lhe permitem manter, com bastante rigor, a cota de operação e o caimento. Para o lançamento do AUV o submarino deve estar o mais estável possível, minimizando as oscilações.

Nesse sentido, a opção do assentamento no fundo permite que o submarino se mantenha da mesma posição (figura x) e bastante estável.

---

<sup>90</sup> O plano do AUV pode também ser definido segundo a distância a manter ao fundo (denominada altitude), normalmente quando em operação com a câmara ou *side-scan sonar* para recolha de dados (menor distância, maior definição dos dados).



Apesar destes sistemas de regulação (caso de operar à cota periscópica ou imersão profunda) ou assentar no fundo, o submarino deve considerar a corrente e posicionar-se a favor desta (direção da corrente de ré para vante) de forma a facilitar a navegação do AUV à saída do tubo.

Quanto a preparativos internos, é nesta fase que se deve considerar guarnecer os postos para operação com o AUV (e.g. consola hidráulica do sistema de tubos, CIC, C<sup>2</sup> do AUV).

### → **Lançamento**

Para lançamento do AUV será utilizado o sistema de tubos lançadores de armas do submarino, no qual apenas quatro tubos podem ser empregues nesta operação (tubos I, II, VII, VIII) devido à sua configuração (anexo D do presente trabalho). A escolha do tubo deve ter em conta o posicionamento no sistema de tubos (qual o bordo e os tubos superiores ou inferiores).

O procedimento de lançamento do AUV a partir do tubo do submarino é abordado segundo quatro tópicos:

#### 1. **Colocação do AUV dentro do tubo:**

Para efetuar o transporte do AUV ao longo do tubo é necessário integrar um berço (conceito explicado na secção 6.2.1 do presente capítulo) dentro do tubo e que se adapte aos sistemas deste.

Em primeira instância é necessário fixar o AUV ao berço, no exterior do tubo, e depois colocá-lo no tubo.

Depois colocar o transdutor da manta *gateway* no interior do tubo (possível acoplamento ao berço do AUV), mantendo a ligação à estação de controlo do AUV no interior do submarino (utilização da ficha elétrica do tubo).

Para terminar este processo é fechada a porta anterior do tubo (*breach door*), pois só assim é possível a operação no interior do tubo.

#### 2. **Operação no interior do tubo:**



Para iniciar a operação do AUV é necessário proceder ao alagamento do tubo, seguindo o mesmo procedimento no caso de operação com as armas (e.g. torpedo, míssil e mina). A porta posterior do tubo (*muzzle door*) apenas pode ser aberta depois de o tubo estar alagado por completo e a pressão interior for equivalente à exterior.

O transporte do AUV ao longo do tubo até à extremidade é assegurado tanto pelo carril de transporte, no qual o berço está inserido, como pelo *loading jack* que acopla o berço na parte posterior. Este transporte é efetuado de forma semelhante ao procedimento com as armas e controlado pelo operador na consola hidráulica.

Ao atingir a extremidade do tubo, o carril de transporte permite ao AUV ficar posicionado entre a porta posterior do tubo e a porta exterior (bow cap) localizada no casco exterior do submarino. Entre estas duas portas localizam-se as circulações livres (tanques de lastro) que não limitam a operação do AUV pois este encontra-se no berço. Esta posição assumida pelo AUV é denominada posição de lançamento.

### 3. Saída do AUV do tubo:

Para o AUV iniciar o movimento é necessário o envio do código “INICIAR PLANO”, via acústica (tubo alagado e transdutor da manta *gateway* dentro do tubo). A partir do momento em que inicia o movimento, o AUV desacopla do berço e afasta-se do tubo.

À saída do tubo o AUV não inicia logo o plano de missão, para isso é necessário que obtenha posição GPS à superfície de forma a encaminhar-se para a posição de início de plano.

### 4. Fita de tempo do procedimento

Colocação do AUV no tubo	Alagamento do tubo	Transporte do AUV no tubo	Lançamento
5 minutos	1 minuto	3 minutos	1 minuto

Tabela 11 - Fita de tempo.



→ **AUV executa plano de missão**

Este tópico deve ser abordado em duas partes:

1. Navegação;
2. Recolha de dados.

Quanto à navegação, após aquisição do sinal GPS, o AUV encaminha-se para a posição de início do plano (*waypoint* inicial) e inicia a primeira fiada (imerge para a profundidade pré-definida).

O plano de missão do AUV é constituído por várias posições (*waypoints*) que definem as fiadas que o AUV vai realizar (*loitering*). Este plano é definido e enviado para o AUV antes de iniciar a operação (no interior do submarino ou dentro do tubo).

Durante o período que o AUV se encontra a navegar em imersão o erro de navegação vai aumentando, apesar das correções dos sensores de navegação. Este erro depende também do tipo de fiada e das variações de profundidade de operação durante o plano.

O erro de navegação do AUV pode ser definido pela seguinte fórmula:

$$\varepsilon \cong U \times \left( S \times \frac{T^2}{2} + S_0 \times T \right) \times 3600 \quad (\text{m}) \quad (6.3.1)$$

Em que:

- $U$  é a velocidade do veículo (m/s);
- $S$  é o erro do IMU (radianos/s) (no caso do AUV SeaCon é 1°/h);
- $S_0$  é o erro inicial de *heading* (o alinhamento procura resolver isto mas existe sempre algum erro associado) (radianos);
- $T$  é o tempo (horas);
- 3600 é a conversão de horas para segundos.

A distância total percorrida pelo AUV é calculada pela seguinte fórmula:

$$D = U \times T \times 3600 \quad (\text{m}) \quad (6.3.2)$$

Considerando a navegação do AUV ao longo de uma fiada em linha reta, e mantendo uma velocidade de 2 nós ( $U = 1,03$  m/s), assumindo  $S = 1^\circ/h$  e  $S_0 = 1^\circ$ , o erro de navegação considerado ao fim de 30 minutos seria:

$$\varepsilon \cong 40 \quad (\text{m}) \quad (6.3.3)$$



Este erro de navegação anula-se quando o AUV vem à superfície, adquire posição GPS e corrige a sua navegação, encaminhando-se para o próximo *waypoint* do plano.

No plano de missão é também definida a profundidade/altitude do AUV durante a missão, o que condiciona a recolha dos dados. Normalmente é definida a altitude do AUV (distância do AUV ao fundo), pois para a recolha de dados este deve manter a mesma distância ao fundo para melhor discriminação. Para a monitorização da distância ao fundo é utilizado o DVL instalado no AUV, previamente programado para uma determinada altitude. O AUV acompanha o declive do fundo mantendo a altitude e no caso de ocorrência de um monte submarino este reduz as rotações, devido ao *obstacle avoidance* e continua a navegação de acordo com a altitude definida.

Tendo em conta o cenário operacional é definida a prioridade os dados a recolher pelo AUV na área de operações:

- Missões de REA: dados oceanográficos recolhidos pelo CTD;
- Missões de ISR: mapeamento do fundo para recolha de informação, utilizando tanto o *Side-Scan Sonar* como a camara (recolha de imagens);
- Missões de MCM: mapeamento discreto do fundo para recolha de informação da presença de minas, utilizando, em primeira instância o *Side-Scan Sonar* e depois a camara.

Em missões de MCM a recolha de imagens claras com a camara eleva o risco de exposição do AUV à ameaça, devido à proximidade necessária (dependente dos parâmetros da água e do tipo e morfologia do fundo). O nível de risco deste tipo de missões fica ao cargo do comandante do submarino, dependendo da necessidade e tipo de empenhamento requerido para o AUV.

Ao terminar o plano de missão o AUV pode vir à superfície ou encaminhar-se diretamente para a posição R/V (também previamente definida) para proceder ao *docking* no submarino. Ao atingir esta posição, e enquanto não se encontra dentro do alcance USBL, o AUV procede a *stationing keeping*<sup>91</sup>.

---

<sup>91</sup> Funcionalidade pré-definida do AUV para que mantenha uma determinada posição realizando círculos em redor desta, durante um período estabelecido ou até lhe ser enviado outro código. O *stationing keeping* pode ser realizado tanto à superfície como em profundidade.



→ **Operação Submarino:**

Este tópico deve ser abordado em duas partes:

1. Navegação;
2. Localização e comunicação com o AUV.

O submarino durante a execução do plano de missão deve, se viável, monitorizar a posição do AUV. Nesse sentido, durante a operação deve manter-se dentro do alcance dos sensores de bordo para localização do AUV.

No período compreendido entre o lançamento e a recolha do AUV o submarino pode proceder de duas formas:

- Permanecer na mesma posição (e.g. assentamento no fundo ou imersão estática);
- Executar NAVPLAN.

Quanto ao assentamento no fundo, o submarino pode permanecer nesta condição durante várias horas, mas está dependente das condições do local (e.g. tipo e declive do fundo). O tipo de fundo privilegiado para esta operação é o fundo arenoso, não sendo considerada em fundos rochosos.

Considerando a imersão estática, o submarino manter-se-ia durante toda a navegação do AUV na mesma posição e cota, por intermédio dos sistemas de regulação. Esta opção poderia ser considerada quando o tipo e declive do fundo não permitissem o assentamento no fundo.

Na situação em que o submarino navega de uma posição de lançamento (posição A) para a posição de recolha (posição B) outros fatores devem ser considerados.

O submarino pode assumir vários tipos de NAVPLAN, consoante o seu empenhamento na missão (e.g. efetuar recolha de informação numa determinada área) ou o nível de ameaça, considerando a postura assumida (*covert/overt*).

Também o submarino integra erros de posicionamento quando a navegar apenas em imersão profunda (capítulo IV), que podem ser minimizados pelos sistemas de bordo.



O erro de navegação do submarino pode ser, academicamente, definido pelo cálculo de um raio onde a probabilidade de posicionamento do submarino é maior:

$$R = \varepsilon + 10\% \text{ distância percorrida } (MN^{92}) \quad (6.3.4)$$

Em que:

-  $\varepsilon$  é o erro de uma posição de referência: *distância máxima* = 500jj = 0,25 MN.

Considerando a navegação do submarino ao longo do NAVPLAN e mantendo uma velocidade de 4 nós, o erro de navegação considerado ao fim de 8 horas (autonomia do AUV) seria:

$$R = 0,25 + (0,10 \times 4 \times 8) = 3,45 \text{ MN} \quad (6.3.5)$$

Este raio de 3,45 MN (6389,4 metros) que delimita a área de probabilidade de posicionamento do submarino só se verifica se este permanecer em imersão durante todo o NAVPLAN. No caso de vinda à cota periscópica o submarino adquire posicionamento GPS e o erro de navegação anula. Este valor também varia conforme o NAVPLAN do submarino.

A escolha da forma de operação fica ao cargo do comandante do submarino e está também condicionada pelo tipo de missão e pelo nível e tipo de ameaça (caso se aplique).

Quanto à localização do AUV, o submarino possui sistemas que podem ser utilizados nesse sentido. Os sistemas agrupam-se em dois tipos:

- Sistemas acústicos: SONAR e telefone submarino;
- Sistemas de comunicações e localização à superfície: antena COMINT, GSM, comunicações satélite, antena rebocada flutuante (ultimo recurso) e deteção visual (Periscópio e Optrónico)

Considerando o submarino e o AUV em imersão, para localização do AUV pode ser considerado o SONAR (figura 40) ou o telefone submarino (figura 41).

---

<sup>92</sup> Milhas náuticas.





Figura 42- SONAR do submarino.

Figura 41- Telefone submarino.

Tanto o SONAR como o telefone submarino atuam em modo passivo (apenas recepção de transmissões), logo podem ser utilizados mesmo em caso de ameaça, não denunciando a posição do submarino. A discriminação do telefone submarino é apenas em azimuth, enquanto o SONAR permite o cálculo da distância<sup>93</sup>.

Os sistemas de comunicações à superfície podem ser utilizados em duas situações: quando o AUV se encontra à superfície, mas o submarino se mantém em imersão profunda (e.g. postura *covert*) ou quando o AUV se encontra à superfície e o submarino à cota periscópica.

A figura 42 caracteriza a primeira situação, considerando a utilização de uma estação em terra (e.g. SUPOPAUTH) para encaminhamento das comunicações ou para informar o submarino da posição do AUV (envio de mensagem para bordo).

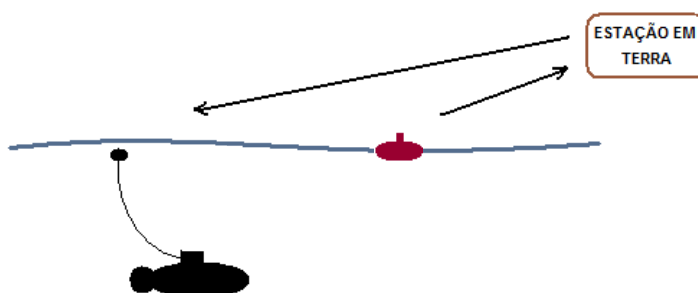


Figura 43 - Comunicação com uma estação em terra.

<sup>93</sup> Os feixes acústicos transmitidos em direção ao alvo são refletidos na direção oposta após o atingirem. Estes feixes refletidos atingem o submarino em várias direções, sendo recebidos por vários sensores (hidrofones) dispostos ao longo do casco do submarino. Com o desfaseamento entre feixes e o tempo decorrido na viagem do feixe é possível calcular a distância do alvo.

Para esta situação é necessário utilizar a antena rebocada flutuante do submarino, de forma a este permanecer em imersão profunda. A comunicação do AUV com a estação pode ser GSM (mensagem) ou via *wireless* (menos viável devido ao alcance).

O plano de missão do AUV pode incluir a possibilidade de este vir à superfície para comunicar em áreas e tempos designados, desde que certas condições sejam verdadeiras. Esta comunicação tanto pode ser efetuada com a estação em terra, como com o próprio submarino, se for caso disso. Estas podem ser utilizadas para atualização do plano de missão que pode incluir uma nova posição R/V.

As duas imagens da figura 43 caracterizam as opções para comunicação de ambas as plataformas à superfície:

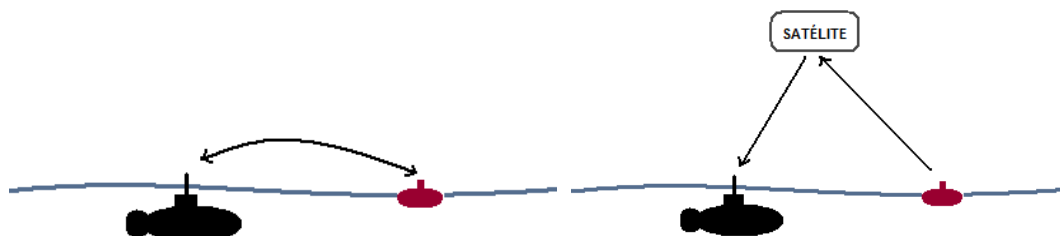


Figura 44 - Comunicações à superfície submarino - AUV.

A primeira imagem da figura 43 exemplifica a comunicação *wireless* ou GSM entre o AUV e o submarino, que depende da frequência e do alcance (condicionado pela potência de transmissão) e da cobertura de envio de mensagens.

À cota periscópica o submarino tem possibilidade de localização do AUV, utilizando os métodos de detecção visual de contatos: o periscópio de ataque e o mastro optrônico. O periscópio permite a detecção, identificação e seguimento de contatos de superfície, enquanto o mastro optrônico integra uma câmara de TV de alta definição e uma câmara IR com imagem térmica. Estes dois sistemas podem ser utilizados para localização do AUV a curta distância, devido à reduzida dimensão do AUV.

A segunda imagem caracteriza a possibilidade de utilização das comunicações satélite (e.g. *iridium*) na comunicação.

O submarino deve aproximar da posição de R/V com o AUV quando o tempo de missão deste estiver a terminar ou caso receba informação (e.g. se AUV vier à superfície no final da missão envia posição para a estação em terra e esta para o submarino).

→ **Posição R/V:**

Ao terminar o plano de missão tanto o AUV, como o submarino encaminham-se para a posição R/V para o AUV dar início à aproximação.

Esta posição é definida antes do lançamento do AUV, mas pode sofrer alteração durante a operação do AUV (e.g. alteração do NAVPLAN do submarino). Considerando que o AUV vem à superfície após terminar o plano e adquire a posição R/V, o erro de navegação do AUV não será considerado.

Quanto ao submarino, considerando a sua navegação maioritariamente em imersão profunda, o R/V não será numa posição, mas uma área devido ao erro de navegação. Este erro deve ser considerado devido à possibilidade de colisão das plataformas.

A figura 44 representa esta situação, definindo a área R/V na qual o submarino se deve posicionar para a recolha do AUV:

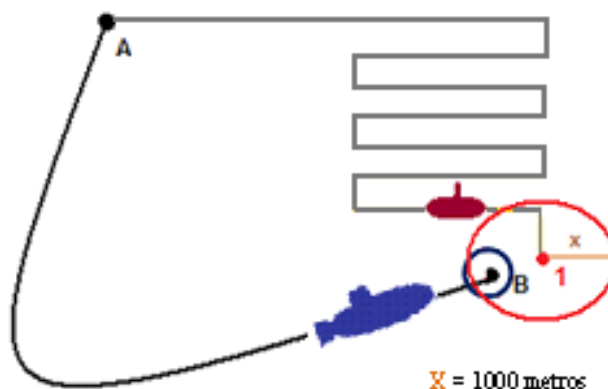


Figura 45 - Área R/V do submarino e AUV.

A figura 44 representa o NAVPLAN do submarino da posição A para a posição B e as fiadas realizadas pelo AUV durante o plano de missão. O círculo mais pequeno (a azul) representa a área provável de posicionamento do submarino no R/V, considerando o erro



de navegação, e o ponto número 1 representa a posição R/V do AUV (posição corrigida pelo *fix* GPS). A área simbolizada pelo círculo maior (a vermelho) define a área R/V do submarino, onde este se deve colocar para receber o AUV.

Para definir a área R/V do submarino deve-se ter em consideração os seguintes fatores:

- Erro de navegação do submarino;
- Posição R/V do AUV (definida pelo operador antes da missão);
- Alcance USBL (3500 metros no máximo).

→ **Posicionamento do submarino para recolha do AUV:**

Antes de o AUV iniciar a aproximação ao submarino, o USBL deve estar colocado na eclusa (porta da eclusa aberta). Assim sendo, devem ser considerados os seguintes preparativos do submarino:

- Preparação da equipa de mergulhadores (e.g. briefing, envergar equipamento);
- Entrada e disposição da equipa dentro da eclusa;
- Colocação do USBL no interior da eclusa;
- Processo de alagamento da eclusa;
- Abertura da porta para visualização /acompanhamento da aproximação do AUV.

Para a operação de recolha do AUV são apenas necessários dois mergulhadores no interior da eclusa, de forma a receberem o AUV. A localização destes (no interior ou no exterior da eclusa) depende do cenário operacional, sendo considerada a possibilidade de um dos mergulhadores auxiliar a entrada do AUV do lado exterior caso autorizado pelo comandante do submarino.

Para o *docking* do AUV na eclusa, o submarino deve considerar o setor de aproximação do AUV, devido à abertura da porta da eclusa (setor livre de 90° de ré para vante).

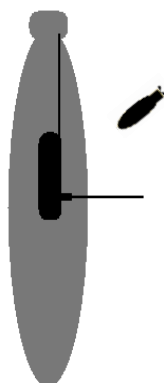


Figura 46 - Setor de aproximação do AUV ao submarino.

Para a recolha do AUV o submarino deve, se viável, posicionar-se de forma a manter o setor do través e da alheta de BB direcionados para a posição R/V do AUV.

→ **Recolha**

1. Processo de *docking* do AUV no submarino:

O processo de *docking* do AUV no submarino compreende várias fases, de acordo com a distância do AUV (*modem*) ao transdutor USBL. A figura 46 descreve as fases considerando as distâncias a inserir no *software* do AUV (descrito na secção anterior):

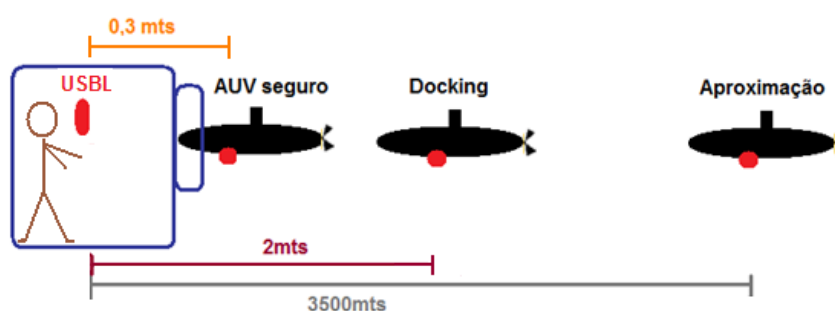


Figura 47 - Processo de *docking* do AUV na eclusa.

A distância de 3500 metros é o alcance máximo considerado para aquisição da posição do USBL pelo *modem* do AUV (e vice-versa). Com a diminuição da distância (aproximação do AUV ao submarino) o AUV vai recebendo a informação acústica do

USBL com maior definição, corrigindo a sua navegação. O AUV não necessita de estar aproado ao transdutor USBL durante a aproximação, pois pode ser pré-definida uma posição de *docking*, relativamente ao USBL (código enviado para o DUNE antes do início do plano de missão).

A informação acústica que chega ao *modem* do AUV é atualizada a cada segundo, ficando este “perdido” durante o período compreendido entre o segundo que envia o sinal e o seguinte. Apesar de, durante este período o USBL não conhecer a posição real do AUV, este continua a estimar a sua posição (Filtro de Kalman) de acordo com os dados que recebe dos sensores de navegação.

O USBL envia a posição ao AUV baseada no cálculo da distância (6.3.6) e do ângulo (6.3.7) entre o AUV e a posição de *docking*:

$$\text{Distância} = E + 1\% \text{ de } R \quad (6.3.6)$$

$$\text{Ângulo } (A) = \psi \pm 1^\circ \quad (6.3.7)$$

Em que:

- $E$  é a elevação do AUV relativamente ao USBL;
- $\psi$  é a proa do AUV.

A figura 47 caracteriza a operação de *docking* relativamente ao USBL:

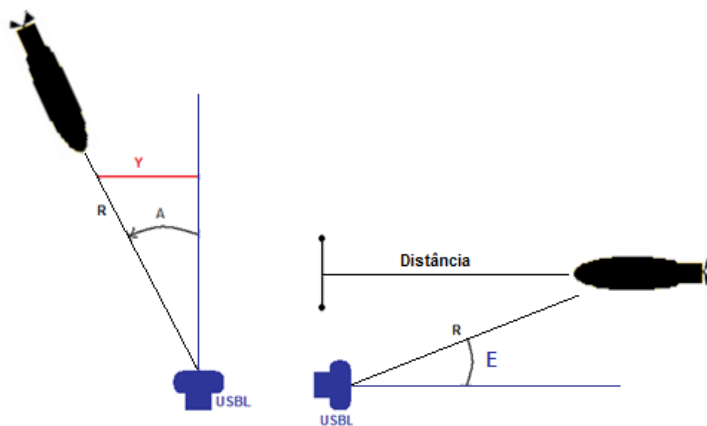


Figura 48 - Vista superior (esquerda) e vista lateral (direita) do *docking*.



Para a correção da navegação, o AUV calcula o erro de *cross-track*, corrige-o (a partir do Filtro de Kalman) e altera a proa de forma a encaminhar-se para a posição correta.

Considerando a situação “perfeita” o erro de *cross-track* deveria ser igual a zero, mas, com a influência das correntes na navegação do AUV e do movimento do submarino (pequenas oscilações), este aumenta. Com a diminuição da distância à posição de *docking* (porta da eclusa) o AUV reduz a velocidade até parar, quando alcança a posição de *docking*.

## 2. Recolha do AUV para o interior do submarino:

Após a entrada na eclusa os mergulhadores recolhem o AUV e colocam-no na posição vertical, de forma a não condicionar os movimentos destes.

Para finalizar a operação na eclusa é executado o esgoto do compartimento.

### → Após a recolha do AUV:

Após finalizada a operação do AUV, duas fases devem ser consideradas: o carregamento das baterias do AUV e a análise dos dados recolhidos pelo AUV.

#### 1. Carregamento das baterias do AUV:

O AUV possui um carregador específico (*Lcharger*) que se conecta à secção central para carregamento das baterias. A outra extremidade do cabo deverá ficar ligada a uma tomada doméstica de 220V AC<sup>94</sup>.

Quanto ao submarino a energia elétrica disponível vem nos formatos abaixo indicados:

- 220V DC
- 220V AC/50Hz<sup>95</sup>
- 115V AC/60Hz
- 115V AC/400Hz

Para utilização por parte do AUV seria considerado o formato de 220V AC/50Hz.

---

<sup>94</sup> *Alternating Current* – corrente alternada.

<sup>95</sup> *Hertz*.



## 2. Análise dos dados recolhidos:

Para a análise dos dados recolhidos pelo AUV durante o plano de missão seria apenas utilizada a estação de controlo deste (sistema neptus). Como referido no subcapítulo 3.3 do capítulo III, o sistema Neptus integra uma ferramenta de análise pós-missão (*Mission Review & Analysis*) que permite a compilação e análise dos dados recolhidos, bem como o acesso a todo o *backup* do plano de missão.

No contexto operacional, considerando a recolha de dados em áreas mais sensíveis (e.g. campo minado), esta ferramenta da estação de controlo do AUV poderia ser otimizada segundo parâmetros de interesse para a missão, e.g. identificação de um determinado tipo de minas pela silhueta ou definição de um campo minado tendo em conta o espaçamento entre várias minas.

### 6.3. Tratamento de falhas

#### 6.3.1. Caso de falha do AUV

O caso das falhas do AUV não é o principal objeto de estudo do presente trabalho, pois é uma matéria específica que requer técnicas específicas cujo âmbito transcende o deste trabalho. De qualquer forma, são de seguida tecidas algumas considerações sobre o processo de tratamento de falhas.

O diagrama de transição de estados, e a tabela associada, terão que ser expandidos para acomodar o tratamento de falhas. Esta expansão pode ser feita de uma forma modular. De facto, a mesma implicará substituir o estado “ABORTAR” por vários estados de falha. O primeiro tem a ver com falha de lançamento, o segundo com falhas de operação e o terceiro com falhas no processo de *docking*. Segue-se uma breve discussão dos processos de tratamento de falhas.

O comportamento do AUV pode ser completamente programado. A operação de afundamento não se encontra disponível no atual conjunto de comandos, mas pequenas modificações do sistema poderão acomodar esta nova funcionalidade.

Durante a execução do plano de missão o AUV pode sofrer alguma falha do sistema, podendo ser consideradas duas opções de atuação deste, desde que incorporadas no plano de missão:





- Vinda do AUV à superfície;
- Afundamento do AUV.

Após uma falha do sistema durante a execução de missão o AUV pode ser programado para vir automaticamente à superfície, devido à sua flutuabilidade positiva. A recolha do AUV terá que ser com recurso a mergulhadores.

Em caso do empenhamento dos mergulhadores para recolha do AUV durante o período diurno, o submarino localiza o AUV por intermédio do *pinger* de emergência e estes procedem à recolha com recurso à identificação visual. Caso esta operação se realize no período noturno, o procedimento adotado para localização do AUV por parte dos mergulhadores será diferente. Isto porque à noite é muito difícil para o mergulhador identificar um veículo de pequenas dimensões, sendo necessário utilizar outros métodos em alternativa ao visual. Uma possibilidade seria o desenvolvimento de um *pinger* portátil que identificasse o sinal acústico do AUV e permitisse ao mergulhador conhecer a direção do AUV.

A questão do afundamento do AUV pressupõe a “perda” deste, pois para esta opção ser considerada é porque a recolha com recurso aos mergulhadores não é viável, e.g. devido à situação operacional. Esta condição é definida inicialmente na elaboração do plano de missão.

A opção do afundamento deve ser considerada quando a vinda do AUV à superfície pode revelar a presença do submarino ou de uma força naval portuguesa na área.

Outra situação de possível afundamento do AUV, mas que não pressupõe a sua “perda”, é o caso da existência de elevado tráfego marítimo na área e ser considerado um risco para o AUV a sua vinda à superfície. Nesta situação os mergulhadores podem ser empenhados na recolha do AUV do fundo, desde que o fundo seja inferior a 80 metros (profundidade máxima para operação com os mergulhadores).



## CAPITULO VII - CONCLUSÕES

---

### 7.1. Conclusões Gerais

Tendo como objetivo central o desenvolvimento de um conceito de operações dos AUV's SeaCon a partir dos submarinos da Classe *Tridente*, a presente dissertação de mestrado foi principalmente centrada nas questões que dizem respeito à vertente operacional.

A caracterização inicial das plataformas (submarino e AUV) possibilitou o conhecimento dos seus sistemas e capacidades, que só foi possível com a realização de entrevistas informais a elementos da guarnição dos submarinos e equipa do LSTS responsável pelos AUV's.

Sendo os submarinos da classe *Tridente* uma poderosa arma submarina, com tecnologia bastante avançada e os AUV's um instrumento militar que auxilia a capacidade de projeção de forças navais em missões específicas, o desenvolvimento deste conceito de operação teve como principal objetivo a conjugação destas duas valências.

Um dos princípios deste conceito de operações é definido pela minimização das modificações estruturais das plataformas, sendo privilegiados os sistemas e procedimentos de ambas.

Assente no processo de Engenharia de sistemas, este conceito de operação define os requisitos de ambas as plataformas tendo em conta a análise realizada. O trabalho multidisciplinar realizado permitiu considerar várias vertentes da operação, que só foi possível baseando o estudo nas várias fases do processo de Engenharia de sistemas, que constituiu uma ferramenta essencial na elaboração da presente dissertação.

Esta análise culmina com a definição da solução mais viável e que melhor adapta o AUV aos sistemas do submarino, considerando os desenvolvimentos atuais de ambas as plataformas. Devido à complexidade de ambas, a sua operação apenas pode ser possível considerando uma componente importante do processo de Engenharia de sistemas – a formação do pessoal.

O lançamento do AUV utilizando o sistema de tubos lançadores de armas e a recolha pela eclusa reúnem as condições atualmente possíveis para a operação conjunta, devendo



ser exploradas nesse sentido. Apesar de ser mais simples e cómodo para o submarino o lançamento e recolha do AUV pela eclusa, o sistema de tubos, podendo ser considerado, verifica elevada vantagem operacional e tática face a uma força opositora no teatro de operações.

O conceito de operações definido no presente trabalho constitui uma valência importante para a operacionalização dos meios navais da Marinha, contribuindo para elevar o patamar de I&D dos AUV's a níveis verificados noutras marinhas no estrangeiro.

## **7.2. Trabalho Futuro**

No decorrer do conceito de operação desenvolvido no presente trabalho, considera-se necessária a verificação da componente prática, de forma a testar a veracidade de alguns conceitos aqui explanados.

Num futuro próximo, as prioridades da Esquadilha de Submarinos não vão de encontro à realização de testes de lançamento e recolha de AUV's por parte dos submarinos, apesar de ser uma hipótese válida. De qualquer forma, conjuntamente com o CINAV, este conceito deverá integrar as linhas de ação da investigação científica na Marinha e considerar aperfeiçoamento do conceito desenvolvido no presente trabalho. Muitos testes entre os AUV's e os submarinos podem ser realizados na Base Naval do Alfeite, não envolvendo a saída destes para o mar e os esforços inerentes.

Outra vertente de estudo importante a ser desenvolvida é a questão das técnicas de análise de falhas (FMEA), considerando o refinamento do conceito de operação após provas de campo.

## **7.3. Comentários Finais**

Ao longo da elaboração deste trabalho foi-me proporcionado o contato com outras realidades, cuja importância para a Marinha é elevadíssima. Nisto refiro-me ao exercício *Rapid Environmental Picture* (REP) realizado anualmente pela FEUP e pela Marinha, permitindo associar a componente militar (e.g. embarque no NRP Bacamarte, operação dos mergulhadores) à componente científica e tecnológica no âmbito dos veículos não tripulados (participação de diversas empresas e marinhas estrangeiras). A minha participação no REP12 foi crucial para o processo de investigação da presente dissertação,



pois permitiu a consciencialização de procedimentos e modo de atuação dos AUV's SeaCon numa área de operação.

No decorrer do processo de investigação tive também a oportunidade de realizar visitas a bordo dos submarinos, por forma a conhecer as plataformas e adquirir conhecimentos importantes para a elaboração dos conceitos presentes neste trabalho.

A presente dissertação de mestrado revelou-se um trabalho de grande interesse e importância, tanto a nível pessoal como para a Marinha, permitindo o desenvolvimento nacional no que diz respeito à I&D de AUV's e fomento de uma capacidade única - a operação dos AUV's a partir de submarinos.

Os conhecimentos adquiridos no decorrer do processo de elaboração desta dissertação de mestrado possibilitaram o desenvolvimento de competências importantes para o emprego no futuro, com Oficial de Marinha e parte integrante das missões operacionais desta.



## GLOSSÁRIO

---

<b>Automático</b>	Quando previamente ligado, põe um mecanismo em marcha.
<b>Autónomo</b>	Que funciona sem depender de ligação a outro dispositivo ou sistema.
<b>Área de Operações</b>	Área geográfica (terrestre ou marítima) que delimita uma zona de operação militar e é definida pelo comandante da força.
<b>ASW</b>	Operações conduzidas com a intenção de negar à força opositora o uso efetivo dos seus submarinos.
<b><i>Beacon ou transponder</i></b>	Farol acústico (opera debaixo de água) usado para medição de distâncias, seguimento da posição e navegação.
<b>Conceito de Operação (CONOP)</b>	Conceito que descreve as características de um sistema proposto do ponto de vista do utilizador (características quantitativas e qualitativas).
<b><i>Dead reckoning</i></b>	Processo de cálculo da posição atual usando uma posição previamente determinada, ou <i>fix</i> , com base no rumo e velocidades adotadas ou calculadas ao longo do tempo.
<b><i>Deployment</i></b>	Distribuição sistemática ou estratégica de pessoas ou forças.
<b><i>Docking</i></b>	No contexto dos AUV's, é o processo que engloba desde a navegação do AUV ao longo de <i>waypoints</i> até à chegada a um ponto, por intermédio de sistemas acústicos (e.g. transdutor).
<b><i>Hardware</i></b>	Componentes mecânicos de um sistema.
<b><i>Intelligence</i></b>	Produto resultante da recolha, processamento, análise, avaliação e interpretação de informação respeitante a uma área de operação. No contexto militar referido à recolha de informações acerca de movimentos ou ações de forças opositoras.
<b><i>Modem</i></b>	Dispositivo que transforma um tipo de energia em outro, utilizando para isso um elemento sensor.
<b>Operação</b>	Ação militar coordenada em resposta a uma situação a decorrer.
<b>Posicionamento <i>Long Base Line (LBL)</i></b>	Método de posicionamento acústico baseado na utilização de dois ou mais faróis acústicos para determinação da posição de um alvo, a partir da interceção das distâncias dos faróis.
<b>Posicionamento <i>Ultra-Short Base Line (USBL)</i></b>	Método de posicionamento acústico baseado na utilização de um sistema fixo de transmissão/receção de sinais acústicos (transceptor) que deteta a distância e direção a um alvo (equipado com um <i>modem/transponder</i> ). A distância é calculada com base no tempo de ida e volta do sinal acústico.



<b><i>Rapid Environmental Assessment</i></b>	Recolha de dados meteo-oceanográficos para apoio às operações navais. improve the performance of sensors, weapons and vessels
<b><i>Reconnaissance</i></b>	Tem o objetivo de reconhecer, por métodos visuais, eletrónicos ou outros, atividades e recursos de um inimigo ou potencial inimigo.
<b><i>Rendezvous</i></b>	Local pré-definido para conclusão ou início de uma ação/operação.
<b><i>Surveillance</i></b>	Observação sistemática de um local, espaço (aéreo, terrestre ou marítimo) ou pessoas a partir de métodos visuais, eletrónicos, fotografias, entre outros.
<b><i>Waypoint</i></b>	Ponto isolado ou localizado ao longo de uma <i>route</i> (caminho) definido por coordenadas geográficas.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

Allen, B. et al. (s.d.). *Autonomous Docking Demonstrations with Enhanced REMUS Technology*. Oceanographic Systems Laboratory Woods Hole Oceanographic Institution, USA.

Bingham, B. (2009). *Navigating Autonomous Underwater Vehicles*. In-Tech. <http://www.intechopen.com/>, consultado em Janeiro de 2013.

BMT Group. (s.d.). *Independent centre of excellence for naval design and support*. [www.bmt.org](http://www.bmt.org), consultado em Março de 2013

Bremer, R. H., Cleophas P. L., Fitski, H. J. & Keus, D. (Julho de 2007). *Unmanned surface and underwater vehicles*. TNO Defence, Security and Safety Report. <http://www.tno.nl/> consultado em Janeiro de 2013.

Campos, H. (Junho de 2011). Processador Integrado para a Navegação de AUVs. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Cowen, S., Briest, S. & Dombrowski, J. (1997). *Underwater docking of autonomous undersea vehicles using optical terminal guidance*. Naval Command, Control and Ocean Surveillance Center, California.

Cruz, N. A. (2011). *Autonomous underwater vehicles* by InTech. [www.intechopen.com](http://www.intechopen.com), consultado em Maio de 2013.

Curtin, T. B., Bellingham, J. G., Catipovic, J. & Webb, D. (s.d.). *Autonomous oceanographic sampling networks in Oceanography book*.

Douglas-westwood. (s.d.). *The World AUV Market Report 2010-2019*. [www.douglas-westwood.com](http://www.douglas-westwood.com), consultado em Maio de 2013.

Fedor, R. (2009). *Simulation of a Launch and Recovery of an UUV to an Submarine*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Arquitetura Naval na Royal Institute of Technology.



French, D. W. (2010). *Analysis of unmanned undersea vehicle (UUV) Architectures and an assessment of UUV Integration into undersea applications*. Dissertação para obtenção do grau de master of science in systems engineering na Naval Postgraduate School, USA.

French, D. W. (2010). *Launch & Recovery Programs Panel Discussion*. [www.navalengineers.org](http://www.navalengineers.org), consultado em Março de 2013.

Gish, L. A. (2004). *Design of an AUV Recharging System*. Dissertação para obtenção do grau de Naval Engineer e Master of Science in Ocean Systems Management no Massachusetts Institute of Technology, USA.

Goulart, R. C. B. (Janeiro de 2010). Aplicação do controle em modos deslizantes para o controle da manobra de submarinos. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Oceânica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

Hardy, T. & Barlow, G. (2008). *Unmanned Underwater Vehicle (UUV) deployment and retrieval considerations for submarines*. BMT Defence Services Ltd.

IEEE Std 1220 – 2005. (2007). *Systems engineering - Application and management of the systems engineering process*. 1ª Edição.

INA 2. Instruções de navegação da Armada. Volume 2. NÃO CLASSIFICADO.

Jun, B.-H. et al. (2008). *Development of the AUV 'ISiMI' and a free running test in an Ocean Engineering Basin*. [www.elsevier.com/locate/oceaneng](http://www.elsevier.com/locate/oceaneng), consultado em Fevereiro de 2013.

L-3 Communications SeaBeam Instruments. (2000). *Multibeam Sonar Theory of Operation*.

Laboratório de Sistemas e Tecnologia Subaquática - LSTS. (28 de Fevereiro de 2011). Sistema SeaCon: Manual de Operação. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Lee, E. A. & Varaiya, P. (2001). *Structure and Interpretation of Signals and Systems*. University of California, Berkeley.





McEwen, R. S., Hobson, B. W. & Bellingham J. G. (s.d.). *Docking control system for a 21" diameter AUV*. Monterey Bay Aquarium Research Institute (MBARI), USA.

Pedra, J. J. (Dezembro de 2010). O papel dos submarinos em operações conjuntas e combinadas decorrente das novas ameaças e cenários de crises atuais e emergentes. Desenvolvido no âmbito do curso de promoção a oficial superior no Instituto de Estudos Superiores Militares (IESM).

Pinto, M. A. (Junho de 2009). Sonar de Varrimento Lateral para Navegação Relativa. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Podder, T., Sibenac, M. & Bellingham, J. (2004). *AUV Docking System for Sustainable Science Missions*. Monterey Bay Aquarium Research Institute - MBARI, USA.

Conceito estratégico de defesa nacional – CEDN, de 5 de abril de 2013. Resolução do Conselho de Ministros n.º 19/2013.

Santos, N. F. (Março de 2008). Navegação de veículo submarino autónomo em rede acústica móvel. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Universidade do Porto, Portugal.

Shah, V. P. (2007). Design Considerations for Engineering Autonomous Underwater Vehicles, Dissertação para obtenção do grau de *Master of Science in Mechanical Engineering* na Massachusetts Institute of Technology.

Siesjö, J. (s.d.). SUBROV. Saab Underwater Systems.

Singh, H. et al. (s.d.). *Intelligent Docking for an Autonomous Ocean Sampling Network*, Department of Applied Ocean Physics and Engineering of Woods Hole Oceanographic Institution, USA.

Sousa, J., Pinto, J., Calado, P., Braga, J., Martins, R. & Marques, E. (s.d.). *Implementation of a Control Architecture for Networked Vehicle Systems*. Departamento de Engenharia Elétrica e de Computadores da Universidade do Porto.



Sousa, J., Braga, J. & Healey, A. J. (s.d.). *Navigation Scheme for the LSTS SEACON Vehicles: Theory and Application*. Laboratório de Sistemas e Tecnologias Subaquáticas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Sousa, J., Pereira, F., Marques, E., Pinto, J., Martins, R. & Dias, P. (s.d.). *IMC: A Communication Protocol for Networked Vehicles and Sensors*. Laboratório de Sistemas e Tecnologias Subaquáticas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Sousa, J., Gonçalves, G. & Azevedo, A. (Março de 2013). Desafio ASGP – Orientações de Engenharia de Sistemas, no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Sousa, R. D. (Novembro de 2008). Sistemas conjuntos de posicionamento e apoio à navegação para veículos subaquáticos. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores no Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Stewart, M. S. & Pavlos, J. (2006). *A Means to Networked Persistent Undersea Surveillance*. Applied Physics Laboratory of University of Washington and General Dynamics Electric Boat.

TM 0761.01. *Ship Information Manual - Submarine 209PN*. Howaldtswerke-Deutsche Werft (HDW).



## **ANEXOS**

---

**Anexo A – Tabela AUV's**

**Anexo B – Estações de *docking* submarinas**

**Anexo C – Produtos da operação do AUV SeaCon**

**Anexo D – Cenários**

**Anexo E – Características táticas do submarino**

**Anexo F – Fotos AUV dentro do Tubo**





# ANEXO A

---

## Tabela AUV's

Conceito de Operação dos Veículos Submarinos Autónomos SeaCon  
a partir dos Submarinos da Classe *Tridente*



NOME	AUV/ ROV	DIMENSÃO (Metros)	PROF. MAX. (Metros)	VEL. MÁX (Nós)	PESO (Kg)	AUTONOMIA (Horas)	COMM'S/ POSICIONAMENTO	SENSORES	MISSÕES	L&R	EMPRESA	MARINHA
<b>AUV-62 MR</b>	AUV	7,0 x 0,53	200	10	500	-	GPS, UHF/VHF, <i>SatLink</i> , comunicações Acústicas	Dual flank-array sonar, <i>Gap-filler</i> sonar, <i>Forward looking</i> sonar, ASW sonar, Camera, DVL	MCM, REA	S	Saab	Swedish Armed Forces
<b>REMUS 100</b>	AUV	1,6 x 0,19	100	5	37	22	WAAS GPS/ LBL, USBL	<i>Side-scan sonar</i> , CTD, video, ADCP, <i>Sea Tech optical backscatter</i> , <i>Very Shallow Water</i> MCM.	MCM, monitorização de <i>Very Shallow Water</i>	S	Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI)	<sup>96</sup>
<b>MK18MOD1 Swordfish UUV</b>	AUV	1,6 x 0,19	100	5	-	-	P-coded GPS / LBL, USBL e Dead reckoning	CTD, <i>Side-scan sonar</i> , <i>downward-looking camera</i> , <i>Small Synthetic Aperture Minehunter</i> , LFBF, water turbidity, temperature and conductivity.	MCM, desembarque anfíbio	N	Hydroid (Kongsberg Maritime)	Royal Norwegian Navy, U.S. Navy
<b>REMUS 600</b>	AUV	3,3 x 0,32	600	5	240	70	<i>Acoustic modem</i> , GPS, Wi-Fi e comunicações <i>Iridium</i> / INS, LBL, USBL	<i>Small Synthetic Aperture Minehunter sonar</i> , <i>Side-scan sonar</i> , CTD e camera	MCM	S	Kongsberg Maritime	U. S. Navy, Royal Navy, Japanese NOD
<b>MK 18 MOD 2 KINGFISH UUV (REMUS 600)</b>	AUV	3,9 x 0,66	600	5	282	70	Wi-Fi, <i>Iridium</i> , <i>Freewave Radio Modem</i> / INS, Dead reckoning, DVL, <i>Compass</i> e LBL	<i>Up/Down looking Acoustic Doppler Current Profiler</i> , <i>Dynamic Focus Side Look Sonar</i> , sensor de Condutividade, Temperatura e Turbidez, <i>Beam Attenuation Meter</i> (BAM) e <i>Obstacle Avoidance sonar</i> .	MCM	N	Kongsberg Maritime, Naval Sea Command (NAVSEA)	U. S. Navy
<b>CETUS</b>	AUV/ ROV	1,8 x 0,8	-	5	150	-	Wi-Fi, GPS / LBL	<i>High frequency sonar e low-light video imaging</i> , <i>Mine Reacquisition and Identification sonar</i> , ADCP, <i>side-scan sonar</i>	MCM	N	Lockheed Martin Corporation	U.S. Navy
<b>SAHRV (REMUS)</b>	AUV	1,6 x 0,19	100	5	37	20	NAV: LBL, DVL, Dead Reckoning	<i>Side-scan sonar</i> , CTD, VSW-MCM, <i>conductivity/temperature and optical back scatter sensors</i>	MCM	S	NAVSEA e Office of Naval Research (ONR)	U. S. Navy, NSWC
<b>AN/BLQ-11 LMRS</b>	AUV	6,1 x 0,53	450	7	1270	40	Comunicações Acústicas e Radio / INS	<i>Forward-looking sonar e obstacle avoidance sonar</i> , <i>side-scan sonar e side-looking classification sonars</i>	MCM	S	Boeing	U.S. Navy
<b>SeaFox</b>	AUV/ ROV	1,3	300	3	40	-	GPS, modem acústico / LBL, USBL	CCTV, <i>high frequency relocation sonar</i> , ecosonda	MCM	-	Atlas Elektronik	U.S. Navy, Royal Navy

<sup>96</sup> Royal Netherlands Navy, Royal Navy, U.S. Navy, Belgian Navy, Royal Norwegian Navy, German Navy, Royal Dutch Navy, Singapore Navy, Italian Navy.

Conceito de Operação dos Veículos Submarinos Autónomos SeaCon  
a partir dos Submarinos da Classe *Tridente*



<b>SeaOtter MKII</b>	AUV	4,5 x 0,98	600	4	1700	7	DGPS, modem acústico, WLAN, internet, VHF Beacon / INS acoplado com DVL, SLAM Navigation, LBL e USBL	<i>Obstacle avoidance sonar, sensores downward-looking, off-the-shelf side scan sonar, multi-beam echosounder, sub-bottom profiler, CTD, sensor de pressão e Emergency Ballast System</i>	MCM, ISR e REA	N	Atlas Maridan	German Navy
<b>SeaWolf</b>	AUV	2,0 x 0,30	300	8	110	3	GPS, modem acústico / IMU, DLV, LBL	<i>Edge Tech Side-scan sonar, Tritech forward-looking sonar, avoidance sonar, high resolution multi beam sonar, sensor de pressão, compass e CTD</i>	MCM	-	Atlas Maridan	German Navy
<b>SeaCat</b>	AUV/ ROV	2,3 x 0,30	300	6	130	6	GPS, modem acústico / DVL, INS	Tritech Gemini Imaging Sonar, Edgeted Subbottom Profiler, Multibeam Sonar, Sidescan Sonar	REA, proteção portuária	-	Atlas Elektronik	German Navy
<b>FLYING - PLUG</b>	AUV/ ROV	1,27 x 0,23	305	4	-	-	Acoustic low-level command link, High frequency acoustic SBL, GPS	Optical quadrant detector system, camera	MCM, REA	S	SPAWAR	U.S. Navy
<b>SeaHorse</b>	AUV	8,7 x 0,97	400	6	4536	72	Comunicações Acústicas e Radio, Iridium / DVL, INS	CTD, <i>side-scan sonar</i> , ADCP, <i>synthetic Aperture Sonar, multibeam bathymetric sonar</i>	Mapeamento de fundos, REA	S	NAVSEA	U.S. Navy
<b>GAVIA</b>	AUV	1,8 x 0,20	500 - 1000	5,5	48	7	Comunicações Acústicas, Wi-Fi (RF), SATCOM, Iridium, internet / LBL, INS	DVL, <i>Side-scan-sonar</i> , camera, <i>Sound velocity meter, Obstacle avoidance sonar</i> , CTD, ADCP, <i>Forward look sonar</i>	MCM, REA, Port Security, treino ASW	N	Teledyne Gavia	Marinha Portuguesa, Royal Danish Navy, U.S. Navy, Russian Navy
<b>Bluefin-9</b>	AUV	1,65 x 0,24	100	5	50	12	Modem acústico e comunicações radio / INS, USBL	<i>Side-scan sonar</i> , CTD, <i>optical backscatter turbidity sensor, Side-scan sonar</i>	MCM, segurança portuária, REA, ISR	S	Bluefin robotics	U.S. Navy
<b>Bluefin-12S</b>	AUV	3,8 x 0,32	200	5	50	10 - 23	Iridium, GPS, RF Beacon, Wi-Fi, modem acústico/ DVL, INS, IMU	<i>Buried-object search sonar forward-looking sonar</i> , CTD	MCM, <i>very shallow waters survey</i>	S	Bluefin robotics	U.S. Navy
<b>Bluefin-21</b>	AUV	4,2 x 0,53	200-4500	5	180	20	Radio frequency: 900 MHz, Iridium, GPS, USBL, LBL; NAV: INS ou Altitude Heading Reference System, DVL	<i>Side-scan sonar</i> , CTD, <i>multibeam echosounder</i>	MCM, exploração arqueológica, recolha de dados oceanograficos	S	Bluefin robotics	U.S. Navy
<b>Bluefin-21 BPAUV</b>	AUV	3,3 x 0,53	200	5	363	18	GPS, comunicações Radio, Iridium. / INS, DVL, IMU	<i>Multibeam side scan sonar</i> , CTD, sensor de turbidez	MCM, ISR, ASW, REA	S	Bluefin robotics	U.S. Navy

Conceito de Operação dos Veículos Submarinos Autónomos SeaCon  
a partir dos Submarinos da Classe *Tridente*



<b>EcoMapper</b>	AUV	1,5 x 0,15	200	4	20,4	8	Wireless; radio link GPS (WAAS corrected); Subsurface: Bottom tracking or water tracking with DVL; or dead reckoning with compass; DVL	<i>CTD (conductivity, temperature, depth); salinity; blue-green algae; chlorophyll; dissolved oxygen; ORP; pH; rhodamine; turbidity; side-scan sonar</i>	Mapeamento da qualidade da água, das correntes marítimas e batimetria	S	YSI inc.	U. S. Navy
<b>HUGIN 1000 (MRS)</b>	AUV	5,0 x 0,75	1000	6	850	24	Comunicações acústicas e radio, internet, WLAN, iridium / DVL+INS, USBL+GPS, NavP-UTP underwater transponder range/bearing navigation, terrainreferenced navigation, micronavigation	<i>Multibeam echo sounder, SAS, dualfrequency side-scan sonar, CTD, ADCP</i>	MCM, Mine reconnaissance, REA (Over e Covert)	N	Kongsberg Maritime	Royal Norwegian Navy
<b>ALISTER 9</b>	AUV	2,5	200	3	90	24	GPS, Wi-fi, comunicações acústicas / DVL, USBL, INS	<i>Forward detection sonar, mine identification and disposal system, side-scan sonar, Obstacle Avoidance sonar, Multibeam Echo Sounder</i>	MCM, REA, Homeland Security	-	ECA Robotics	French Navy, Japanese Coast Guards
<b>ALISTER 18</b>	AUV	4,6 x 0,47	600	3	400	24	GPS, Wi-Fi, comunicações acústicas / USBL, DVL, INS	<i>Side Scan Sonar, Synthetic Aperture Sonar, Interferometric Sonar, Obstacle Avoidance Sonar, Multibeam Echo Sounder, CTD, Camera</i>	MCM, REA, Hydrographic Survey	-	ECA Robotics	French Navy
<b>ALISTER 27</b>	AUV	5,0	300	3	1000	30	DGPS, Wi-Fi, comunicações acústicas / USBL, INS, DVL	<i>Side Scan Sonar, Synthetic Aperture Sonar, Sub Bottom Profiler, Interferometric Sonar, Obstacle Avoidance Sonar, Multi-Beam Echo Sounder, CTD, Video camera &amp; search lights, camera acustica</i>	Seismic Survey, REA, análise de sedimentos, MCM	S	ECA Robotics	French Navy
<b>ALISTER REA</b>	AUV	4,8 x 0,70	300	8	800	12	Comunicações acústicas, Wi-Fi, GPS / DVL, USBL, INS	Forward detection sonar, mine identification and disposal system	MCM, REA	S	ECA Robotics	Indian Navy, French Navy
<b>OKPO 300</b>	AUV/ ROV	1,8 x 0,26	300	6	55	10	Comunicações acústicas / DVL, USBL	Sensores de movimento e de Profundidade, CTD	MCM, segurança portuária, Oceanographic Survey	-	Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co., Ltd.	Korea Navy
<b>AN/WLD-1 RMS</b> (sistema de minehunting)	AUV+ ROV	7,0 x 1,20	4,3	16	6360	14	GPS LOS; OTH NAV.; INS	<i>Laser line scanner, forward-looking sonar, DVL, obstacle avoidance video camera, VDS (ROV): side-looking sonar, ahead-looking sonar, volume search sonar; laser electro-optical identification</i>	MCM	N	Lockheed Martin	U.S. Navy





## ANEXO B

---

### Estações de *docking* submarinas fixas



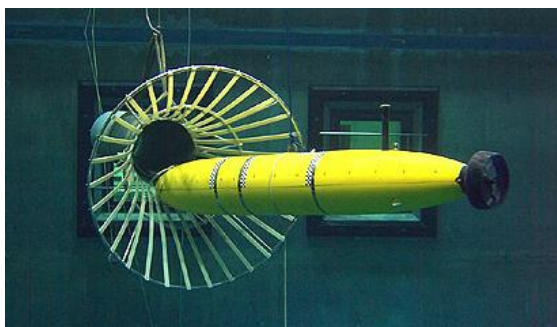
## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

---

<b>Ilustração 1</b> - MBARI <i>Docking Station</i> ( <a href="http://www.mbari.org/news/feature-image/auvdock.html">http://www.mbari.org/news/feature-image/auvdock.html</a> ) .....	3
<b>Ilustração 2</b> - REMUS <i>Dock</i> ( <a href="http://www.whoi.edu/">http://www.whoi.edu/</a> ) .....	4
<b>Ilustração 3</b> - Conceito Flying -Plug (Cowen, 1997) .....	6
<b>Ilustração 4</b> - Método acústico do Flying-Plug (Cowen, 1997) .....	7
<b>Ilustração 5</b> - Kriso-Kordi Dock (Lee, Jeon, & Kim, s.d.) .....	8
<b>Ilustração 6</b> - Sistema de guiamento visual (Park, Jun, Lee & Oh, s.d.) .....	9
<b>Ilustração 7</b> - AOSN MURI (Frye, 1998) .....	10
<b>Ilustração 8</b> - WHOI/MIT-AOSN <i>Dock</i> (Shah, 2007).....	10
<b>Ilustração 9</b> - Sequência do <i>Docking</i> (Fukasawa, 2003) . ....	11

## 1. MBARI<sup>97</sup> *Docking Station*:

O MBARI desenvolveu uma estação de *docking* para a classe de AUV's *The Dorado* (3,58 metros de comprimento e 0,53 metros de diâmetro). Esta estação tem como objetivo aumentar o tempo de permanência dos AUV's nas missões, diminuindo a dependência dos navios de superfície. (McEwen, Hobson & Bellingham)



**Ilustração 1-** MBARI *Docking Station*.

A estação foi concebida para estar conectada a uma infraestrutura de observação dos fundos oceânicos (MARS<sup>98</sup>) procedendo ao carregamento de baterias, transferência de dados ou *upload* de instruções.

A arquitetura da estação de *docking* é bastante simples, passando a complexidade do sistema para o AUV. A estação encontra-se fixa ao fundo, minimizando as partes móveis, o que possibilita ao veículo fixar-se à estação sem o auxílio de mecanismos internos (e.g. um gancho).

A MBARI *Docking Station* é constituída por duas partes em fibra de vidro: uma estrutura cônica (diâmetro máximo de 2 metros) onde o AUV termina a aproximação à estação e um tubo com 0,57 metros de diâmetro, onde o AUV fica alojado. Está equipada com uma caixa estanque que agrega o equipamento elétrico e um *beacon* acústico para *homing* do AUV.

Como a estação se encontra fixa ao fundo, o AUV adota uma trajetória de aproximação o mais constante possível, de forma a entrar corretamente no cone. Nesse sentido o AUV deve estar dotado de sensores e algoritmos que permitam o cálculo da navegação com

<sup>97</sup> Monterey Bay Aquarium Research Institute.

<sup>98</sup> *Monterey Accelerated Research System*: observatório colocado no fundo oceânico, conectado à superfície com um cabo, que permite a transferência de dados e energia a vários instrumentos científicos submarinos (<http://www.mbari.org/mars/>).

precisão devido à influência das correntes oceânicas. Apesar de fixa, a estação apresenta oscilações (até 10 graus) devido ao movimento das ondas, o que auxilia o AUV na ligação à estação durante a entrada.

Para a aproximação à estação o AUV utiliza o sistema de posicionamento USBL por intermédio do *beacon* instalado na estação. Até à distância de alcance acústico do *beacon* o AUV utiliza os sensores de navegação para manutenção da posição. Quando o AUV “adquire” a estação, e se encaminha para o centro do cone, reduz a velocidade para cerca dos 1.0 m/s<sup>99</sup>. Quando se encontra acoplado à estação a informação é enviada para a superfície a partir de um sensor indutivo de posição instalado na estação.

Para sair da estação o AUV está programado para soltar uma cavilha (*peg*) e inverter o hélice. De seguida o hélice pára e o AUV sobe até aos 3 metros de profundidade (flutuabilidade positiva), de forma a colocar-se numa zona segura e iniciar uma nova missão.

O carregamento das baterias é executado a partir de um indutor integrado na estação e a transferência de dados é processada através de uma antena *wireless* de Internet colocada no topo da estação que se liga à parte superior do AUV.

A WHOI<sup>100</sup> também desenvolveu um sistema de *docking* semelhante para o AUV REMUS/SAHRV (REMUS *Dock*). Esta estação foi também desenvolvida para permanecer no fundo do mar, mas as suas dimensões diferem da anterior: o cone apresenta 1 metro de diâmetro e o cilindro 0,25 metros de diâmetro.



**Ilustração 2 - REMUS *Dock*.**

<sup>99</sup> Metros por segundo.

<sup>100</sup> Woods Hole Oceanographic Institution.



Esta estação possui um cabo com uma boia acoplada que possibilita a comunicação com a superfície. O AUV permanece fixo à estação por ação dos grampos colocados na parte inferior e superior deste, e com auxílio de um fixador do motor, na secção frontal do AUV. Quando este se encontra na estação a informação é recebida por um sensor LVTD<sup>101</sup>. A monitorização do AUV na estação é efetuada, em tempo real, por uma câmara de vídeo colocada no cone da estação que envia e informação por *Wi-fi* para o operador (Allen et al.). A transferência de dados e o carregamento das baterias deste AUV são processados por intermédio do motor acoplado à estação, que se conecta ao fixador.

O sistema de *homing* utilizado por este AUV é o método acústico, por intermédio do USBL (semelhante ao AUV *The Dorado* na MBARI *Docking Station*) instalado na secção frontal. Este método compreende a troca de informação a partir de ondas acústicas, que calcula a distância e a direção à estação de *docking* com precisão. A estação possui uma bússola que permite conhecer a sua direção, a favor da corrente, para que o AUV calcule a direção de aproximação. A desvantagem deste método é a questão da proximidade requerida ao USBL para o AUV “adquirir” a estação (Shah, 2007).

Na questão do *undocking* (saída da estação) o AUV inverte o hélice e mantém os ângulos de leme, de forma a ganhar seguimento para trás e afastar-se da estação. Quando o AUV determina que guinou 90° e aumentou a sua profundidade inicia a próxima missão.

O REMUS *Dock* é atualmente utilizado pela U. S. Navy.

## 2. NRad - *Flying plug*

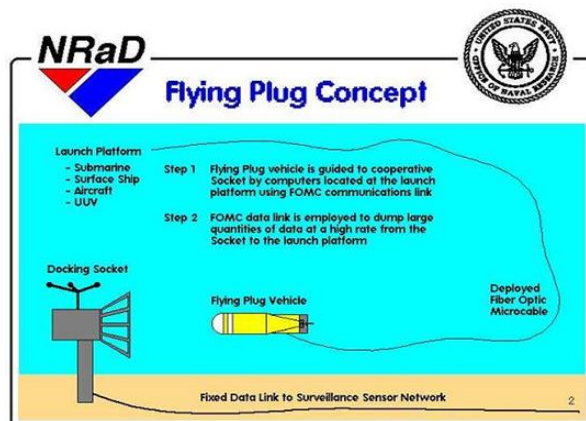
O conceito do *Flying plug* foi desenvolvido pela SPAWAR - Systems Center San Diego (SSC San Diego) e consiste no *docking* de um veículo (lançado por uma plataforma) num *socket* (estrutura de encaixe) colocado na coluna de água. A plataforma de lançamento pode ser um navio de superfície, um submarino ou outro UUV.

Este veículo apresenta 1,27 metros de comprimento (50 *inches*) e 0,23 metros de diâmetro (9 *inches*) e foi desenvolvido para operar até aos 305 metros (1000 *feet*<sup>102</sup>). Após o lançamento do veículo, este permanece conectado à plataforma-mãe por um cabo de fibra

<sup>101</sup> *Linear Variable Differential Transformer* - sensor de medição de deslocamento linear.

<sup>102</sup> Unidade de comprimento utilizada nos Estados Unidos da América (1 pé = 0,3048 m).

ótica (FOMC<sup>103</sup>). O FOMC foi desenvolvido pela SSC San Diego e é um cabo de fibra ótica de diâmetro reduzido que permite a transferência de dados debaixo de água, com elevada capacidade e fiabilidade.

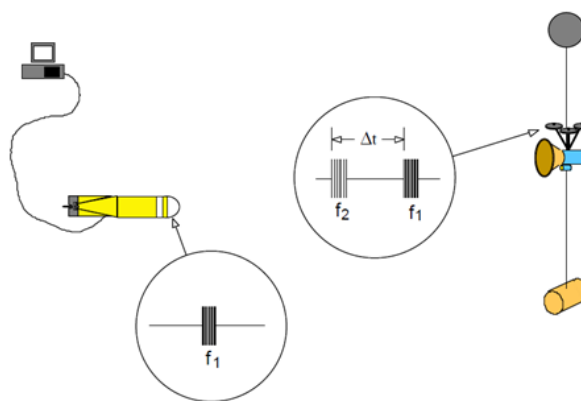


**Ilustração 3** - Conceito Flying -Plug.

Este veículo é guiado de forma autónoma pelo computador que se encontra a bordo da plataforma de lançamento, por intermédio do FOMC.

No que diz respeito ao *docking*, o conceito do *Flying plug* compreende dois métodos de *homing*: método acústico na fase inicial de aproximação e método ótico na fase terminal e *docking*. No método acústico é utilizado o sistema de posicionamento de alta frequência USBL até o veículo atingir o alcance visual do *socket*. O *socket* funciona como *transponder* (farol), pois possui três transdutores que enviam a informação do azimute (direção) e, a partir do *delay* de tempo de chegada do *ping* dos *transponders* ao veículo, é calculada a distância. A profundidade do veículo é calculada pelos sensores de bordo.

<sup>103</sup> *Fiber Optic Microcable* – é um cabo de 0,8 mm de diâmetro, desenvolvido pela Naval Command Control Ocean Surveillance Center (NCCOSC), com aplicações a nível das comunicações submarinas entre plataformas militares (torpedos) ou civis (UUV's)  
(<http://www.public.navy.mil/spawar/Pacific/Robotics/Pages/FlyingPlug.aspx>).



**Ilustração 4** - Método acústico do Flying-Plug.

O método ótico compreende a utilização de *beacons* luminosos e a navegação por imagens óticas. O conceito *Flying plug* utiliza uma fonte de luz incandescente instalada no cone do *socket* e um sensor ótico<sup>104</sup> na secção frontal do veículo para orientação deste na fase terminal do *docking*. A frequência utilizada na fonte luminosa é de 40 Hz, de forma a não se confundir com a luz solar em *shallow waters*.

A passagem do *homing* acústico para o ótico ocorre quando o veículo deteta o sinal ótico, mas o método acústico continua a ser utilizado para o cálculo da distância ao *socket*.

O veículo ao entrar no *socket* aciona dois pernos que o fixam à estrutura com auxílio de um mecanismo junto à secção frontal. A transferência de dados é assegurada por vários acopladores óticos ao longo do veículo (Cowen, 1997).

O *Flying plug* apenas é operado pela U. S. Navy, pois é um projeto que se encontra em fase de desenvolvimento por um dos seus departamentos.

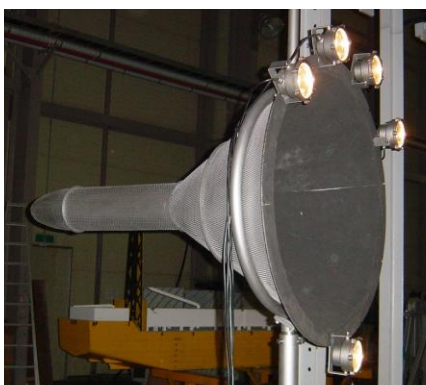
### 3. Kriso - Kordi Dock

A Kriso - Kordi *Dock* foi desenvolvida pela Korea Ocean Research and Development Institute (KORDI) para utilização por parte do AUV ISiMI (também desenvolvido pelo KORDI). Este AUV possui 1,2 metros de comprimento e 0,17 metros de diâmetro,

<sup>104</sup> O sensor ótico baseia-se no princípio das lentes hiperfocais (*hyperfocal lens*) e no detetor por quadrantes (o sensor integra um fotodetetor que converte a luz em eletricidade e está dividido em quatro partes - quadrantes). Cada quadrante recebe sinal ótico consoante o movimento do veículo e quando este se encontra na direção do centro do cone do *socket* os quatro quadrantes recebem a mesma intensidade luminosa. (Cowen, Briest & Dombrowski, 1997)

constituindo um veículo de pequenas dimensões e facilmente transportável (cerca de 20 quilogramas) (Jun et al., 2008). O veículo foi concebido como plataforma-teste para outros AUV's de maiores dimensões, em ambiente OEB<sup>105</sup> (*Ocean Engineering Basin*).

A estação de *docking* assume uma forma cónica (abertura do cone com 1 metro de diâmetro) e integra cinco luzes, que se encontram instaladas na parte exterior do cone (entrada da estação). A disposição e o brilho das luzes são ajustáveis, podendo ser adaptáveis às condições do meio e ao tipo de missão.



**Ilustração 5** - Kriso-Kordi Dock.

O AUV ISiMI procede ao *homing* à estação de *docking* por intermédio de uma camara CCD<sup>106</sup> (*Charge-Coupled Device*) instalada na secção frontal. Esta camara é utilizada para deteção da estação de *docking* no estado final da aproximação do AUV, utilizando o método de *homing* ótico.

O processo de *docking* do AUV divide-se em duas fases: quando este se encontra a cerca de 15 metros da estação e no final da aproximação, a cerca de 4 metros de distância.

Na primeira fase o AUV deteta a estação a partir de processamento visual de imagem (cinco luzes instaladas na estação). Com este processamento o AUV apenas calcula a posição relativa (*pitch* e *yaw*) e a distância à estação (centro do cone), a partir da disposição das luzes. O algoritmo de orientação do AUV permite localizar o centro da

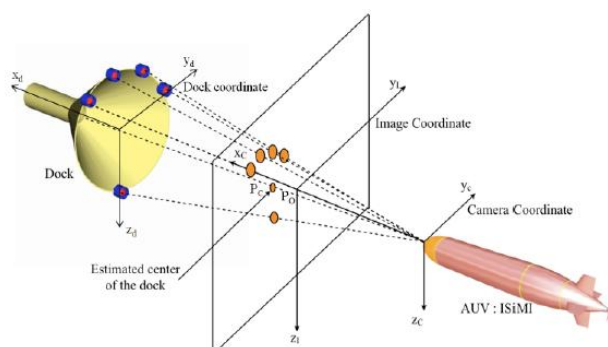
<sup>105</sup> O OEB é uma bacia de engenharia oceânica (estrutura com 68.8 metros de comprimento, 37.2 metros de largura e 4.5 metros de profundidade) que simula o ambiente oceânico para testes (Park et al., 2008)

<sup>106</sup> CCD – é um sensor que captura a luz e converte em dados digitais, gravados pela camara (utilizado na captação de imagens das camaras e máquinas fotográficas digitais).

(<http://www.techterms.com/definition/ccd>)



estação (cone) tendo em conta o referencial do sistema de coordenadas da imagem. Devido a isto o AUV mantém continuamente a secção frontal direccionada ao centro do cone (Park, et al.).



**Ilustração 6** - Sistema de guiamento visual.

Na segunda fase do *docking*, os parâmetros calculados na fase anterior transitam para este, nomeadamente o *pitch* e o *yaw*. Encontrando-se mais próximo da estação o AUV adquire as luzes da estação com maior precisão e direciona a secção frontal para o centro do cone.

Com a influência das correntes do oceano no movimento do AUV o erro de *cross-track*<sup>107</sup> aumenta, desviando a trajetória do AUV relativamente à estação.

Apesar de o conceito de *docking* para este AUV estar bastante desenvolvido ainda não foi testado em condições reais, de forma a poder aferir o seu comportamento face à influência de correntes oceânicas.

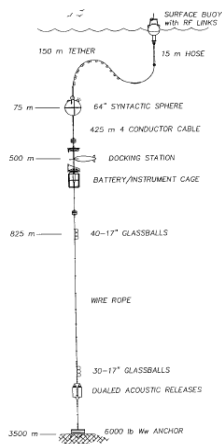
#### **4. AOSN MURI: AOSN *Mooring Development And Operations***

A AOSN MURI foi desenvolvida pela WHOI e é um projeto que visa a criação de um sistema de pesquisa oceânico, que possa permanecer largos períodos de tempo no local de operação, de forma a recolher dados do interior do oceano até plataformas à superfície. A AOSN<sup>108</sup> (*Autonomous Ocean Sampling Network*) é constituída por vários sistemas e sensores que permitem a recolha de dados oceanográficos, nomeadamente a estação de

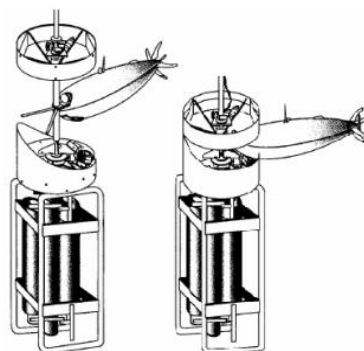
<sup>107</sup> O erro de *cross-track* é a mínima distância entre o veículo e uma linha definida por dois waypoints (em que um se encontra na estação de *docking*).

<sup>108</sup> AOSN - Rede autónoma de amostragem do oceano.

*docking* para recolha e manutenção do AUV. A AOSN pode incluir boias que permitem enviar os dados via satélite para outras plataformas (Frye, 1998).



**Ilustração 8 - AOSN  
MURI.**



**Ilustração 7 - WHOI/MIT-AOSN Dock.**

O sistema de *docking* consiste numa estrutura vertical com dois polos acoplados, onde o AUV se fixa por intermédio de um fecho (*latch*) acoplado à secção frontal deste. Depois de passar o fecho, os polos da estação unem de forma a fixarem o AUV.

O AUV inicia a aproximação à estação quando se encontra nas proximidades desta (100 a 200 metros), a partir de qualquer direção. O *homing* à estação é processado por intermédio do sistema de posicionamento USBL (incorporado no AUV) e um *modem* acústico instalado na estação. Quando o AUV atinge a estação com a secção frontal, alinha os núcleos indutivos com esta, de forma a se fixar. É também a partir destes núcleos que efetua transferência de dados e carregamento de baterias.

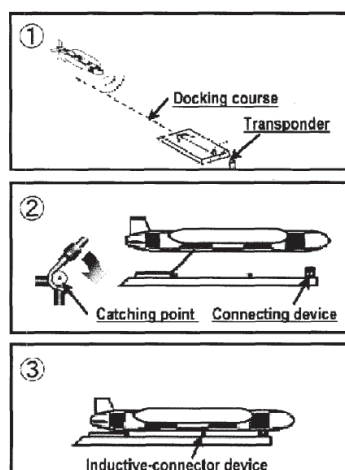
Na questão do *undocking* o AUV inverte o hélice de forma a andar para trás e afastar-se da estação. A uma distância segura inverte novamente o hélice e inicia uma nova missão (Singh et al.).

Um dos AUV's utilizados como teste desta estação de *docking* foi o AUV da classe *Odyssey IIB* (2,1 metros de comprimento e 0,6 metros de diâmetro) desenvolvido pelo MIT<sup>109</sup> (Curtin et al.).

## 5. **Kawasaki docking system**

O sistema de *docking* da Kawasaki utiliza uma plataforma fundeada para *docking* de um AUV de teste, o *Marine Bird*. Este AUV é de grandes dimensões (6,7 metros de comprimento e 0,7 metros de diâmetro) e possui duas secções laterais. É um veículo autônomo mas utiliza um cabo de fibra ótica para envio de comandos, podendo operar como ROV.

O *docking* do *Marine Bird* baseia-se no princípio da aterragem de uma aeronave num porta-aviões, aproximando-se lentamente da plataforma e fixando-se a partir de um gancho instalado no AUV. A plataforma possui ainda um dispositivo de conexão indutivo para carregamento de baterias.



**Ilustração 9** - Sequência do *Docking*.

O AUV está programado para se encaminhar para as proximidades da estação de *docking* quando selecionado (código enviado pelo cabo de fibra ótica) ou quando o nível de baterias é reduzido. A estação possui um *transponder* para direcionamento do AUV que utiliza o sistema de posicionamento acústico USBL. A aproximação é realizada a velocidades reduzidas, mantendo o azimuth e a altitude.

<sup>109</sup> Massachusetts Institute of Technology's.



Após o carregamento de baterias, o AUV procede ao *undocking* realizando a sequência contrária do *docking*.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

Cowen, S. (1997). *Flying Plug: A Small UUV Designed for Submarine Data Connectivity*. Space and Naval Warfare Systems Center.

Lee, P.-M., Jeon, B.-H., & Kim, S.-M. (s.d.). *Visual Servoing for Underwater Docking of an Autonomous Underwater Vehicle with One Camera*. Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering, KORDI.

Park, J.-Y., Jun, B.-H., Lee, P.-M. & Oh, J. (2008). *Development of Test-Bed AUV 'ISiMI' and Underwater Experiments on Free Running and Vision Guided Docking*. [www.intechweb.org](http://www.intechweb.org), consultado em Fevereiro de 2013.

Park, J.-Y., Jun, B.-H., Kim, K., Lee, P.-M., Oh, J.-H. & Lim, Y.-K. (s.d.). *Improvement of vision guided underwater docking for small AUV ISiMI*. Maritime and Ocean Engineering Research Institute – KORDI, Republic of Korea.

Frye, D. E. (1998). *AOSN MURI: AOSN Mooring Development And Operations*. Woods Hole Oceanographic Institution, USA.

Fukasawa, T. (2003). *Development of AUV "Marine Bird" with Underwater Docking and Recharging System*. Kawasaki Shipbuilding Corporation & Kawasaki Heavy Industries, Ltd.



## ANEXO C

---

### **Produtos da operação do AUV SeaCon**

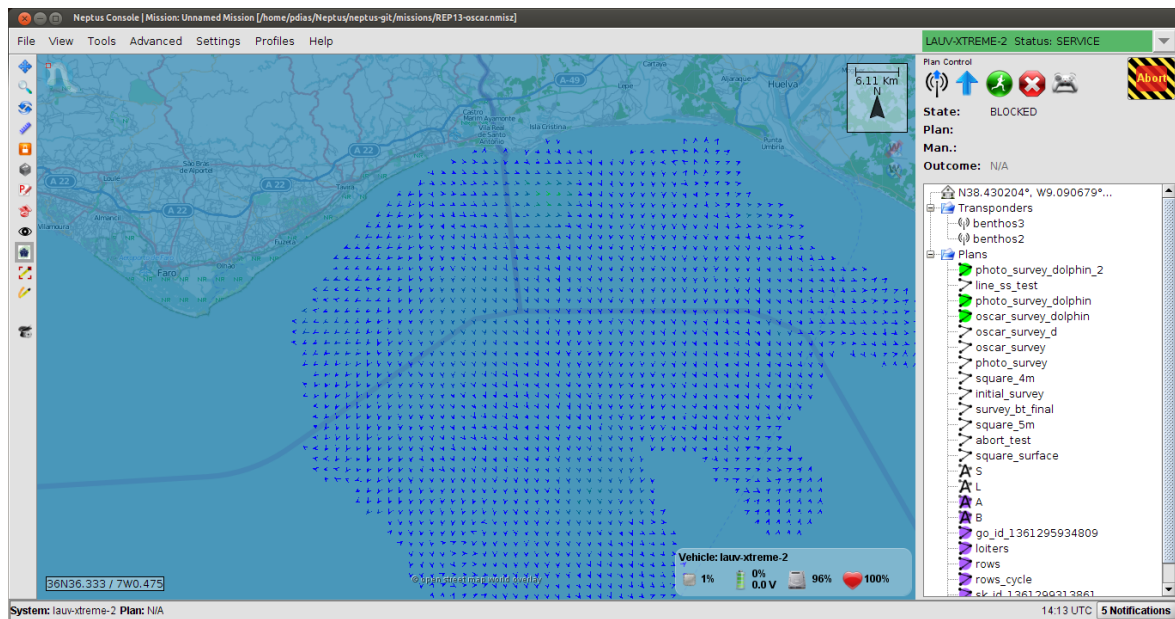


Imagem a – Integração de informação da corrente no sistema Neptus.

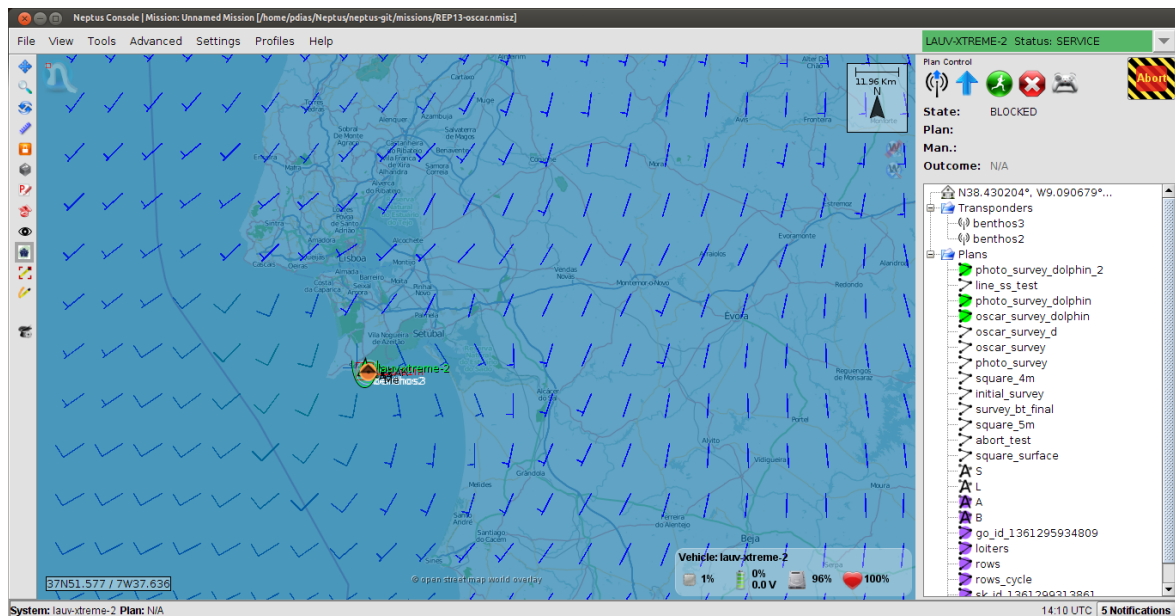


Imagem b - Integração de informação do vento no sistema Neptus.



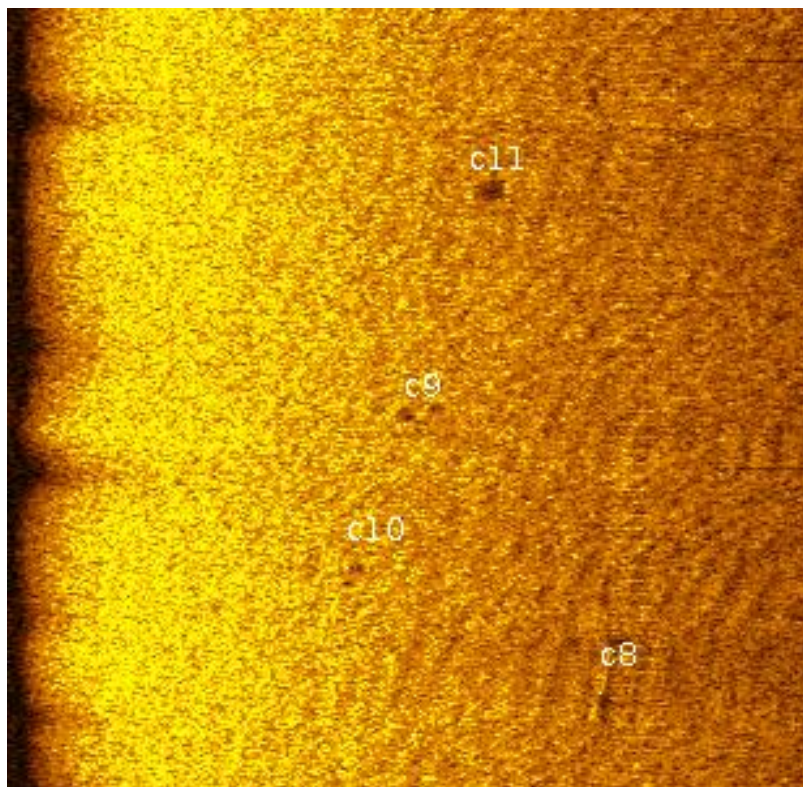


Imagem c – Objetos identificados pelo *side-scan sonar*.

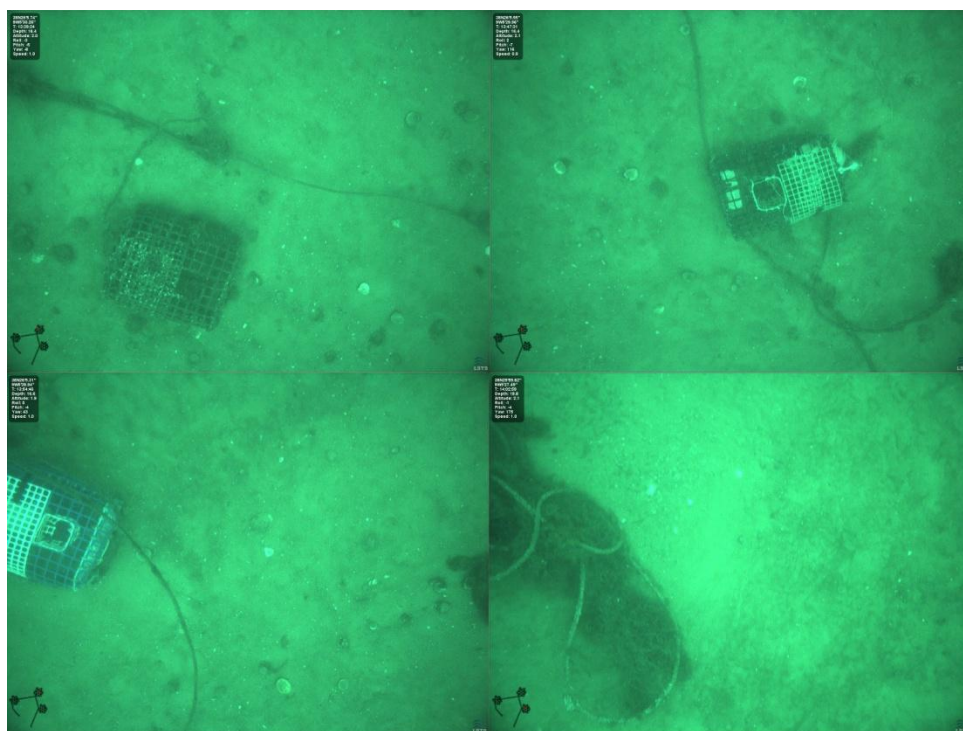


Imagem d – Imagens capturadas pelo AUV SeaCon.





## ANEXO D

---

### Cenários



## ÍNDICE DE FIGURAS

---

<b>Cenário 1</b> - Porto de Leixões.....	20
<b>Cenário 2</b> - Porto de Lisboa.....	21
<b>Cenário 3</b> - Porto de Sesimbra.....	23
<b>Cenário 4</b> - Porto de Setúbal.....	24
<b>Cenário 5</b> - Porto de Sines.....	26
<b>Cenário 6</b> - Porto da Horta.....	27



## ÁREA DE OPERAÇÕES - TIPO:

### → Características da costa portuguesa:

- Correntes: A costa portuguesa sofre influência, maioritariamente, da corrente Norte-Atlântica, que deriva na corrente das Canárias (corrente fria que flui para sudoeste desde o Atlântico Nordeste até à região do Senegal).

A corrente é, predominantemente, dos quadrantes de Norte, entre os 0,2 nós e os 0,5 nós (variando consoante a altura do ano e a ação do vento).

- Marés: O tipo de maré característico da costa portuguesa é a semidiurna regular (duas preia-mares e duas baixa-mares em cada período de um dia) e varia consoante o local. As correntes de maré apenas apresentam valores consideráveis nas embocaduras (foz) de rios ou estuários.

- Temperatura da água: A temperatura média da água do mar na costa portuguesa varia entre 13°C e 18°C (até aos 300 metros de profundidade) consoante a altura do ano.

Durante os meses de Verão a temperatura tende a diminuir ao longo de toda a costa (cerca de 2°C a 3°C), devido ao fenómeno de *upwelling* (afloramento) costeiro de águas mais frias (associado à divergência das correntes superficiais provocadas pelos ventos do quadrante norte - de Nortada - que predominam nesta altura do ano).

- Salinidade: Os níveis de salinidade da água costeira portuguesa sofrem influência da Massa de água central do Atlântico Norte, assumindo valores entre 35.5 ‰<sup>110</sup> e 36.5 ‰ à superfície.

(Fator importante para o cálculo da densidade e velocidade de propagação do som na água)

- Densidade: A estrutura hidrológica da água ao largo da costa portuguesa é tipicamente oceânica, não havendo intrusão de águas pouco salinas que alterem substancialmente a densidade da água do mar (como ocorre, por exemplo, no Estreito de Gibraltar). A densidade média é cerca de 1026 g/cm<sup>3111</sup>.

Definição de cenários-tipo das áreas de operação dos submarinos, considerando cinco situações portuárias da costa Portuguesa.

<sup>110</sup> Unidade de medição da salinidade, significa partes por mil.

<sup>111</sup> Unidade de medição da densidade, significa gramas por centímetro cúbico.

## SITUAÇÃO 1 - PORTO DE LEIXÕES

→ Morfologia costeira:



**Cenário 1** - Porto de Leixões.

Esta situação é caracterizada por apresentar uma orla costeira rochosa, junto à foz do rio Douro.

Este porto descreve a situação em que a entrada do porto é estreita, apresentando uma formação rochosa a norte e uma praia a sul. A cerca de 2,5 milhas a sul localiza-se a desembocadura do rio, que altera consideravelmente, tanto a geomorfologia da costa, como o gradiente ambiental.

→ Condições meteo-oceanográficas:

A zona adjacente a este porto apresenta correntes no sentido N – S (cerca de um nó de velocidade) por se localizar ao longo da costa. A corrente de maré é pouco significativa, apresentando valores na ordem dos 0,5 nós.

Quanto à agitação marítima, é quase inexistente no interior do porto, começando a fazer-se sentir com o aumento da distância a costa. A ondulação predominante é dos quadrantes de SW, cerca de 3 a 4 metros.

→ Morfologia do fundo:

Os fundos desta zona são do tipo arenoso.

Quanto à batimetria, este porto apresenta valores de sondas reduzidas na ordem dos 11 metros dentro do porto e cerca de 14 metros à saída.

Na aproximação ao porto é possível contar com sondas reduzidas de 40 metros a cerca de 5 milhas de costa, com tendência para reduzir de forma continua (declive reduzido) até costa.

→ Parâmetros da água:

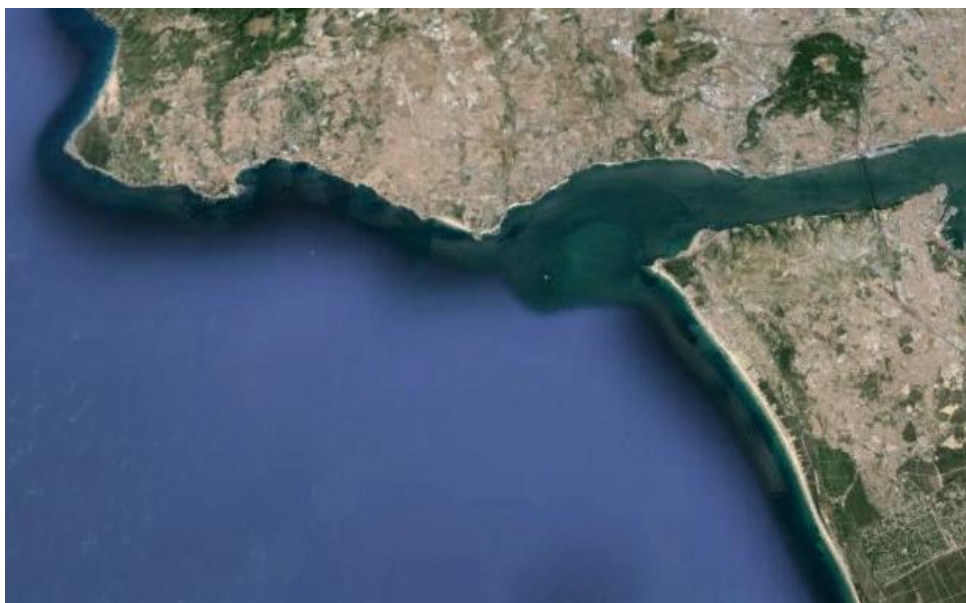
A temperatura da água nesta zona assume valores entre os 12,6°C e os 16,2°C (temperatura máxima inferior à temperatura média).

→ Tráfego marítimo:

Este porto apresenta elevado tráfego marítimo, devido á navegação mercante.

## **SITUAÇÃO 2 - BARRA DO PORTO DE LISBOA**

→ Morfologia costeira:



**Cenário 2 - Porto de Lisboa.**

Esta situação é caracterizada pelo estuário do rio Tejo e por uma situação de orla costeira ampla. O troço terminal do rio apresenta um canal profundo e estreito, em que na



sua boca ocorre a mistura da água doce proveniente do rio com as águas marinhas do oceano.

As margens do rio são caracterizadas por situações de perfis morfológicos distintos: a margem sul apresenta um perfil regular, sem grandes alterações na orla costeira, ao contrário da margem norte, que possui alguns acidentes geológicos (e.g. cabo).

→ Condições meteo-oceanográficas:

As correntes que influenciam a zona da situação descrita são, principalmente, as correntes da maré proveniente do rio. Estas correntes variam consoante a enchente ou vazante do rio, sendo esta última a que mais influência na aproximação ao porto (pode atingir velocidades entre os 3 nós a 4 nós).

A zona nas proximidades da entrada do porto é abrigada da agitação marítima, devido à morfologia da área.

→ Morfologia do fundo:

Os fundos desta zona são do tipo arenoso, existindo zonas de constituição lodosa.

No que diz respeito à batimetria, este porto apresenta sondas reduzidas na ordem dos 11 metros dentro do porto, verificando-se um declive elevado com o aumento de distância a costa. A cerca de 5,5 milhas de costa as sondas reduzidas rondam os 100 metros.

→ Parâmetros da água:

Devido às descargas de água doce do rio no mar, existem algumas flutuações nos parâmetros da água, nomeadamente da salinidade, temperatura, correntes e turbidez. Assim, na aproximação ao porto, os valores dos parâmetros da água não apresentam um padrão definido.

→ Tráfego marítimo:

À semelhança da primeira situação, esta também apresenta elevado tráfego marítimo, nomeadamente navegação mercante e de recreio.

### SITUAÇÃO 3 - PORTO DE SESIMBRA

→ Morfologia costeira:



**Cenário 3 - Porto de Sesimbra.**

Esta situação apresenta uma orla costeira bastante ampla, caracterizada pela sua irregularidade. O porto situa-se numa baía, delimitada a norte por uma praia, o que lhe confere características diferentes da zona adjacente. O acidente geológico a oeste do porto é também um fator relevante da orla costeira.

→ Condições meteo-oceanográficas:

O porto encontra-se abrigado dos ventos e correntes durante quase todo o ano, devido às suas características. A corrente sofre maior influência da maré (enchente ou vazante).

→ Morfologia do fundo:

Os fundos são do tipo arenoso e esta zona é propícia à existência de armadilhas ou redes de pesca próximo de costa. Existe também a passagem de cabos submarinos na área.

A batimetria, nesta situação, apresenta valores na ordem dos 10 metros junto ao porto, com elevado declive até aos 50 metros de sonda reduzida (distância de cerca de 0,5 milhas de costa). As sondas atingem valores de 100 metros a 1,3 milhas de costa.



→ Parâmetros da água:

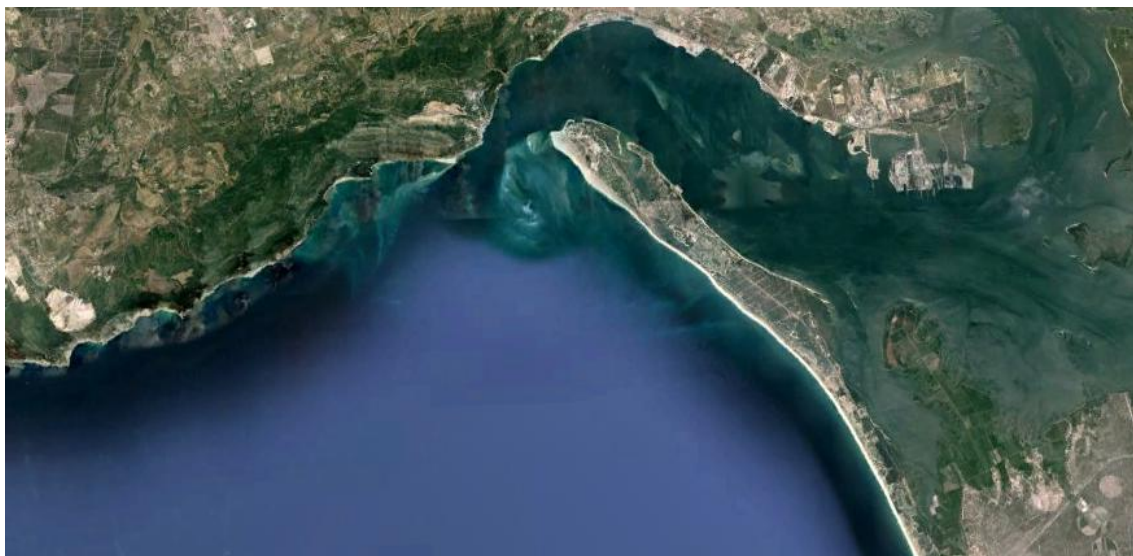
A temperatura da água nesta zona assume valores entre os 14,2°C e os 17,8°C (temperatura média mais elevada que a situação 1 devido à localização na costa portuguesa).

→ Tráfego marítimo:

Nesta situação não se verifica muito tráfego marítimo, a exceção de algumas embarcações de recreio.

#### **SITUAÇÃO 4 – PORTO DE SETUBAL**

→ Morfologia costeira



**Cenário 4 - Porto de Setúbal.**

Esta situação é caracterizada pelo estuário do rio Sado), que apresenta uma orla costeira ampla a NW e uma península a SE. O porto localiza-se numa bacia costeira semifechada, onde a água do rio (água doce) se mistura com água do mar (água salgada).





→ Condições meteo-oceanográficas:

Este porto encontra-se abrigado dos ventos e correntes, devido à morfologia costeira. A corrente que mais influencia é a corrente de maré, de cerca de 1,3 nós, devido à enchente e à vazante.

Quanto à agitação marítima, este porto é abrigado a Norte e Leste, fazendo-se sentir a ondulação de SW.

→ Morfologia do fundo:

O tipo de fundo nesta zona é arenoso, apresentando algum cascalho.

Quanto à batimetria, esse porto apresenta profundidades reduzidas e possui apenas um canal de acesso seguro ao porto (para navios de maior calado). Este canal (barra) tem sondas reduzidas na ordem dos 15 metros, enquanto as zonas adjacentes apresentam sondas reduzidas de cerca de 1 a 2 metros. À saída da barra existe um elevado declive no fundo e as sondas reduzidas aumentam bastante.

Na aproximação ao porto, as sondas reduzidas apresentam valores de 100 metros à distância de 8 milhas de costa (península).

→ Parâmetros da água:

Como ocorre uma mistura de água à saída do porto, os parâmetros da água não apresentam um padrão constante.

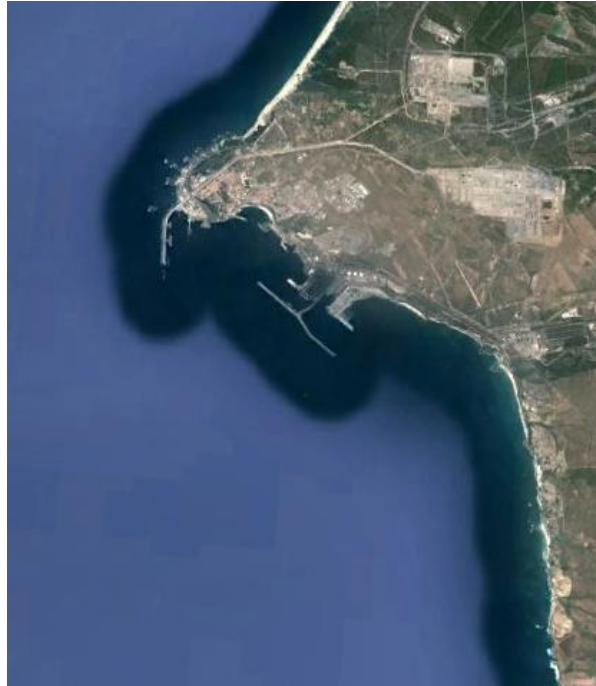
A temperatura da água nesta zona assume valores entre os 14,2°C e os 17,8°C.

→ Tráfego marítimo:

Este porto apresenta elevado tráfego marítimo, devido à atividade piscatória e navegação mercante.

## SITUAÇÃO 5 – PORTO DE SINES

→ Morfologia costeira:



**Cenário 5** - Porto de Sines.

Este porto encontra-se inserido no cabo de Sines (acidente geológico), constituindo uma situação menos resguardado que as anteriores (porto aberto ao mar). É caracterizado a sul por um geomorfologia ampla, apresentando um recorte regular da costa.

→ Condições meteo-oceanográficas:

Os fatores que influenciam a corrente nesta zona são, principalmente, o vento (quadrantes de N-NW) e a maré.

Quanto à agitação marítima, é predominante dos quadrantes de NE.

→ Morfologia do fundo:

O fundo nesta zona apresenta características rochosas, mas possui zonas lodosas e arenosas.

Quanto à batimetria, é caracterizada por ser um porto de águas profundas, mas com um declive regular: sondas reduzidas de 25 metros à saída do porto e de 100 metros a cerca de 3,5 milhas de costa.

→ Parâmetros da água:

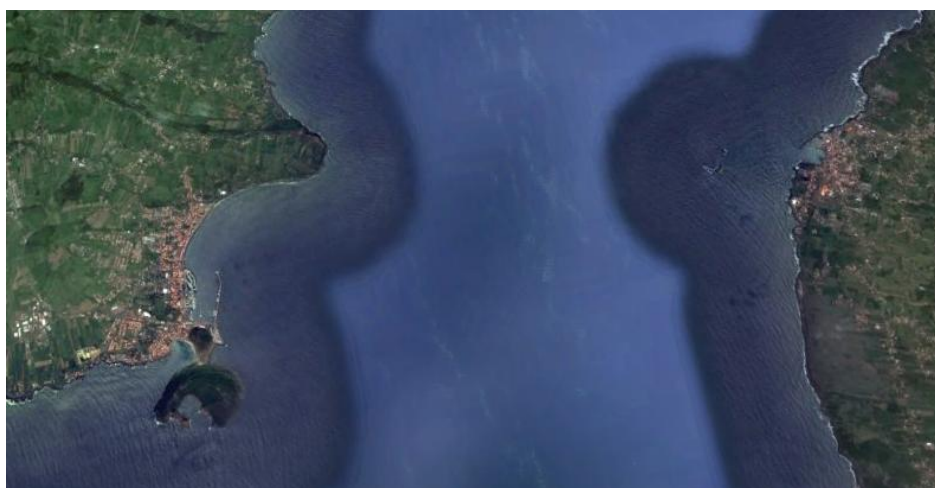
A temperatura da água nesta zona assume valores entre os 14,0°C e os 17,2°C.

→ Tráfego marítimo:

Este porto apresenta elevado tráfego marítimo devido à navegação mercante.

## SITUAÇÃO 6 - PORTO DA HORTA (ILHA DO FAIAL)

→ Morfologia costeira:



**Cenário 6** - Porto da Horta.

Este porto é caracterizado por se localizar entre ilhas, inserido no canal do Faial. A orla costeira onde se localiza o porto (ilha do Faial) é constituída por um tómbolo (pequena ilha rochosa ligada ao continente por uma faixa resultante da acumulação de areias) a sul e por um acidente geológico a norte.

A ilha localizada a Leste do porto (ilha do Pico) integra uns ilhéus, a cerca de 0,5 milhas de distância.



→ Condições meteo-oceanográficas:

As correntes no canal são influenciadas, maioritariamente, pelo vento e pela maré. O vento apresenta-se pelos quadrantes de SW durante o inverno, força 4 (11 a 16 nós) e fraco (4 a 6 nós) durante o verão. A corrente de maré durante a enchente é NNE e durante a vazante de SSW. Estes dois fatores conjugados influenciam bastante a navegação na aproximação ao porto.

A agitação marítima predomina dos quadrantes de NW.

→ Morfologia do fundo:

Esta zona é caracterizada por águas profundas, apresentando uma sonda reduzida de 50 metros à distância de 0,8 milhas de costa e de 100 metros a cerca de 1,4 milhas de costa. Existe um baixio, a SE do porto (1,9 milhas), com cerca de 7 metros de sonda reduzida.

→ Parâmetros da água:

A temperatura da água nesta zona assume valores entre os 17°C e os 24°C.

→ Tráfego marítimo:

Este porto não apresenta elevado tráfego marítimo.

Considerando as situações acima referidas é possível tipificar seis cenários-tipo de possíveis áreas de operação do submarino e do AUV.

No contexto internacional, as áreas de operações enquadram-se nestas cinco situações e serão considerados os mesmos fatores.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

Roteiro da Costa de Portugal - Portugal Continental - Do Cabo Carvoeiro ao Cabo de S. Vicente.

Roteiro da Costa de Portugal - Portugal Continental - Do Rio Minho ao Cabo Carvoeiro.

Roteiro da Costa de Portugal - Portugal Continental - Marinas e Portos de Recreio.

Roteiro da Costa de Portugal - Arquipélago dos Açores

Conceito de Operação dos Veículos Submarinos Autônomos SeaCon  
a partir dos Submarinos da Classe *Tridente*

